

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky

## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Autonomní řízení mechanických elementů na robotickém  
zařízení

Autonomous Control System of Mechanical Elements for  
Robotic System

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Šteffek**

Studijní program: N2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 2601T004 Měřicí a řídicí technika

Téma: **Autonomní řízení mechanických elementů na robotickém zařízení**  
**Autonomous Control System of Mechanical Elements for Robotic System**

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor problematiky řízení a modelování pohybů mechanických elementů.
2. Návrh a realizace konstrukční části pohyblivých mechanických elementů doplněných o senzorovou část.
3. Vývoj matematického modelu základních pohybů mechanických elementů.
4. Realizace autonomního řídicího systému pro pohyb mechanických elementů.
5. Praktické ověření a testování robotického zařízení a jednotlivých implementovaných metod.
6. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] WISE, Edwin. *Applied robotics*. 1st edition. Indianapolis: Prompt Publications, 1999. 311 s. ISBN 0-7906-1184-8.
- [2] ŠOLC, František. *Robotika, modelování a řízení robotů: Robotics, modelling and control of robots : teze přednášky ke jmenování profesorem v oboru "technická kybernetika"*. Brno: VUTUM, 2004, 28 s. Vědecké spisy (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-2618-7.
- [3] JAZAR, Reza N. *Theory of applied robotics*. 2nd Edition. New York : Springer, c2010. ISBN 978-1-4419-1749-2.
- [4] MANN, Burkhard. *C pro mikrokontroléry : uC & praxe*. 1. české vydání. Praha : BEN-technická literatura, 2003. 279 s. ISBN 80-7300-077-6.
- [5] HRBÁČEK, Jiří. *Komunikace mikrokontroléru : s okolím 2*. 1.vyd. Praha : BEN-technická literatura, 2000. 151 s. ISBN 80-86056-73-2.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Macháček, Ph.D.**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013

doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce Ing. Zdeňkovi Macháčkovi, Ph.D. za pomoc a podporu při tvorbě diplomové práce.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Datum  
7.5.2013

Podpis

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'M. Štěpánek', written in a cursive style.

## **ABSTRAKT**

V dnešní moderní době je nespočetná řada vědeckých a výrobních institutů zabývajících se vývojem kybernetického zařízení, které se v mnoha ohledech podobá člověku. V dřívějších dobách byly tyto zařízení známy pouze z knih a filmových pláten. Věda, výzkum a vývoj ve všech ohledech rostou raketovou rychlostí, tudíž v této vědní disciplíně se angažuje čím dál tím více konstruktérů. Mezi nejznámější protagonisty vývoje „robotů“ bezpochyby patří Japonci, kteří se neustále pokouší vytvořit robotického společníka, který se v mnoha ohledech vyrovná, ba i překoná člověka. Tato disciplína v sobě zahrnuje nespočet vědních oborů, které se vzájemně propojují. Od vývoje mechanické části, která by zajišťovala důležité pohyby celého kybernetického zařízení, až po sofistikovaný software, schopný reagovat a adaptovat se na okolní podmínky.

Diplomová práce se zabývá návrhem tzv. kybernetické hlavy, která vizuálně připomíná hlavu lidskou. Především je kladen důraz na část, která se zabývá realizací řídicího systému, vhodného pro univerzální použití. Vytvořený celek v sobě zahrnuje mechanickou konstrukci celé hlavy, na kterou jsou kladeny požadavky základních pohybů, dále se zabývá zpracováním obrazu, zvuku a následného vyhodnocení. Celý systém má primární určení pro prezentování katedry na výstavách a otevřených dveřích, aby zaujmul potenciálního studenta a širokou veřejnost.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Algoritmus, PWM, Pulsně šířková modulace, CodeWarrior, ColdFire, Servo, Servopohon, Servomotor, Robotika, Kybernetická hlava

## **ABSTRACT**

In the modern age, there is an innumerable amount of scientific and industrial institutes working with the development of cybernetic equipment, which in many regards resembles a human being. In earlier times, this equipment was known only in books and films. Science, research, and development grow in all regards with rocket speed, which means that in this scientific discipline, more and more designers are being involved. The Japanese are certainly among the most well-known protagonists in the development of “robots,” who are incessantly attempting to create a robotic companion which in many ways is equal to and even acts like a human. This discipline summarizes in itself the countless number of scientific fields which support each other. From the production of a mechanical part, which would ensure important movements of all the cybernetic equipment, to the sophisticated software, able to react and adapt to its surroundings.

This master’s thesis handles a suggestion for the so-called cybernetic head which is visually similar to a human head. Emphasis is especially given to the portion handling the creation of a driving system suitable for universal use. The produced entity summarizes in itself the mechanic construction of the entire head, upon which the requirements of basic movements are laid, as well as handles the creation of an image, sound, and subsequent evaluation. The entire system has the primary purpose of presenting the department at expositions and open houses, in order to interest potential students and the general public.

## **KEY WORDS**

Algorithm, PWM, Pulse Width Modulation, CodeWarrior, ColdFire, Servo, Actuator, Servomotor, Robotics, Cybernetic head

## **Seznam použitých symbolů, zkratek a definice základních pojmů**

Algoritmus	je postup řešení splňující následující podmínky: rezultativnost, konečnost, determinovanost a hromadnost.
Analogový	vztahující se k zobrazení fyzikální veličinou, která může nabýt kterékoliv hodnoty z daného oboru.
BDM	Programovací rozhraní (Background Debug Mode)
BOTTOM	Spodní vrstva na desce plošných spojů
C/C++	Programovací jazyk/objektově programovací jazyk
CAN	Sběrnice (Controller Area Network)
CMOS	Technologie doplňující se kov-oxid-polovodič (Complementary Metal–Oxide–Semiconductor)
ColdFire	Mikroprocesorové jádro
DPS	Deska plošných spojů
GND	Zemní potenciál (Ground)
HAL	Heuristicky naprogramovaný ALgoritmický počítač (Heuristically programmed ALgorithmic computer)
MCU	Mikrokontrolér
PVC	Polyvinylchlorid
PWM	Pulsně šířková modulace
Signál	je časově proměnlivá veličina, již jsou zobrazovány údaje.
SMD	Součástky pro povrchovou montáž
SRAM	Statická paměť (Static Random Access Memory)
TOP	Horní vrstva na desce plošných spojů
TTL	Tranzistorově-tranzistorová logika
Údaj, data	je obraz vlastností objektu vhodně formalizovaný pro sdílení, interpretaci nebo zpracování prostřednictvím lidí, či automatů.
USB	Univerzální sériová sběrnice
VR	proměnná reluktance (Variable Reluctance)

## Obsah

1	Úvod .....	1
2	Robotické zařízení .....	2
2.1	Dělení robotů .....	3
2.2	Robotika .....	4
3	Rozbor problematiky řízení a modelování pohybů mechanických elementů .....	5
3.1	Pohyb tělesa .....	6
3.1.1	Posuvný pohyb .....	6
3.1.2	Rotační pohyb .....	7
3.1	Krokový motor s pasivním rotorem .....	8
3.2	Hybridní krokový motor .....	8
3.3	Modelářské servomotory .....	9
3.4	Pulzně šířková modulace .....	10
3.5	Dělení servomotorů .....	11
3.6	Simulace v Matlab Simulinku .....	12
4	Realizace autonomního řídicího systému .....	13
4.1	Základní pohyby robotické hlavy .....	13
4.2	Řídící deska .....	15
4.3	FREESCALE MCF51AC256 .....	16
4.4	Jádro ColdFire V1 .....	16
4.5	Návrh řídicí desky .....	18
4.6	Schéma .....	19
4.7	Plošný spoj .....	22
4.8	Pohybová část .....	25
5	Implementace programové části .....	28
5.1	Definice základních veličin .....	28
5.2	Krokování serva .....	29
5.3	Komunikační protokol .....	29
5.4	Příjem dat .....	30
6	Verifikace a testování celého systému .....	33
7	Zhodnocení dosažených výsledků .....	36
7.1	Závěr .....	40
8	Použitá literatura .....	41
9	Seznam příloh .....	42



# 1 Úvod

Diplomová práce je zaměřena na sestavení robotického zařízení, které bude vizualizačně podobné lidské hlavě schopné vykonávat základní pohyby, sbírat a vyhodnocovat data přijaté z okolního prostředí. Vývoj tohoto zařízení je velice obsáhlý, tudíž je zpracováván několika studenty, kteří jednotlivě i společně řeší problematiku vývoje spjatou s konstrukcí tohoto zařízení. Cíl této diplomové práce je rozdělen do tří částí.

První část je zaměřena na realizaci konstrukční části pohyblivých mechanických elementů doplněných o senzorovou část a vývoj matematického modulu základních pohybů. Pohybové ústrojí tvoří soustava několika modelářských servomotorků a lineárních pohonů, zajišťující vertikální a horizontální pohyb kamer (očí) a celé konstrukce (hlavy), pro autentičnost mluvení hlavy robota, jsou ústa vybaveny servopohonom zajišťující pohyb ve vertikálním směru. Kostru robotického zařízení tvoří hliníkové elementy, na kterých je připevněn obličej člověka z PVC, ve kterém jsou patřičné otvory pro kamerovou část.

Druhá část se zabývá návrhem a realizací řídicí desky, která slouží pro ovládání jednotlivých servopohonů zajišťující pohyb konstrukčních elementů. Řídicí deska je navržena jako vývojový kit pro širší spektrum uplatnění laboratorních úloh, obsahuje mikroprocesor od firmy FREESCALE, a to MCF51AC256 série ColdFire, DPS je rozšířena o Low Power SRAM paměť o velikosti 2M x 8bit, konektor pro microSD kartu, komunikační a programovací konektory. Celá konstrukce robotické hlavy obsahuje celkem tři tyto řídicí desky, které zajišťují zpracovávání zvuku, obrazu a pohybů. Komunikace mezi jednotlivými DPS je řešena pomocí CAN sběrnice.

Třetí část diplomové práce se orientuje na problematiku spojenou s ovládáním jednotlivých servopohonů, komunikaci mezi subsystémy pro zpracování obrazu a zvuku. Komunikace mezi subsystémy je realizována komunikačním protokolem, ve kterém má každá část systému přiřazené své identifikační číslo a příslušné limity.

## 2 Robotické zařízení

Robot je chápán jako samostatně pracující stroj, který je schopen vykonávat určité úkony místo člověka. Slovo „robot“ se v dějinách poprvé objevilo v roce 1920 ve hře R.U.R - Rossum's Universal Robots, jejímž autorem byl český spisovatel Karel Čapek.

V historii byly definovány pravidla chování robotů americkým spisovatelem a biochemikem ruského původu Isaacem Asimovem, který v roce 1942 ve své povídce stanovil původní 3 zákony robotiky[1]:

- 1) Robot nesmí ublížit člověku nebo svou nečinností dopustit, aby bylo člověku ublíženo.
- 2) Robot musí poslechnout člověka, kromě případů, kdy je to v rozporu s prvním zákonem.
- 3) Robot se musí chránit před poškozením, kromě případů, kdy je to v rozporu s prvním nebo druhým zákonem.

Podle účelu, vzhledu, způsobu vzniku, schopností a dalších aspektů rozlišujeme tyto roboty[9]:

- Manipulátor – (Obr. 1) stroj nemající vlastní inteligenci. Je ovládán na dálku. Mohou tvořit o složitější robotické systémy (Obr. 4).
- Kuchyňský robot – kombinace mixéru, hnětače, a dalších kuchyňských strojů, obvykle provedený jako motorová jednotka s nástavci
- Android – robot podobný člověku – obvykle se očekává biologické složení.
- Droid – (Obr. 2) jakýkoliv inteligentní a samočinný robot, jeho typem je i dron, tedy droid pracující jako dělník.
- Humanoid – (Obr. 3) robot podobný člověku principiální stavbou těla a zejména způsobem pohybu.
- Anthropomorfní - stroj, který se člověku přibližuje (napodobuje ho) buď fyzicky, způsobem pohybu, nebo naopak mentálně (např. HAL 9000).
- Kyborg (kybernetický organismus) – umělá bytost či mysl, biologické, přírodní tělo plně pod vládou stroje, skrze nějaké bio-kybernetické propojení. Naproti tomu opačný pól je živá, přírodní bytost či mysl s uměle upraveným tělem, např. obohaceným o mechanické či elektronické součástky, ze kterého v extrémním případě mohl zůstat i jen mozek (viz bionika), ale stále považovaná za člověka.[6]



**Obr. 1 Průmyslový robot**



**Obr. 2 Droid (R2D2) z Hvězdných válek**



**Obr. 3 HRP-4C Humanoid**



**Obr. 4 Chirurgický robotický systém Da Vinci**

## **2.1 Dělení robotů**

Podle jejich schopnosti pohybovat se [9]:

- Stacionární – nemohou se pohybovat z místa na místo
- Mobilní – mohou se přemísťovat

### **Stacionární roboty**

Rozlišení podle způsobu programování [9]:

- přímé programování
- vedením robotova ramena
- zadáváním povelů z ovládacího panelu
- nepřímé programování (off-line) – zadáváme prostorové křivky získané z výkresů
- přímé programování (on-line) – obdobně jako předchozí, ale robot se přizpůsobuje měnícím se vnějším podmínkám pomocí čidel

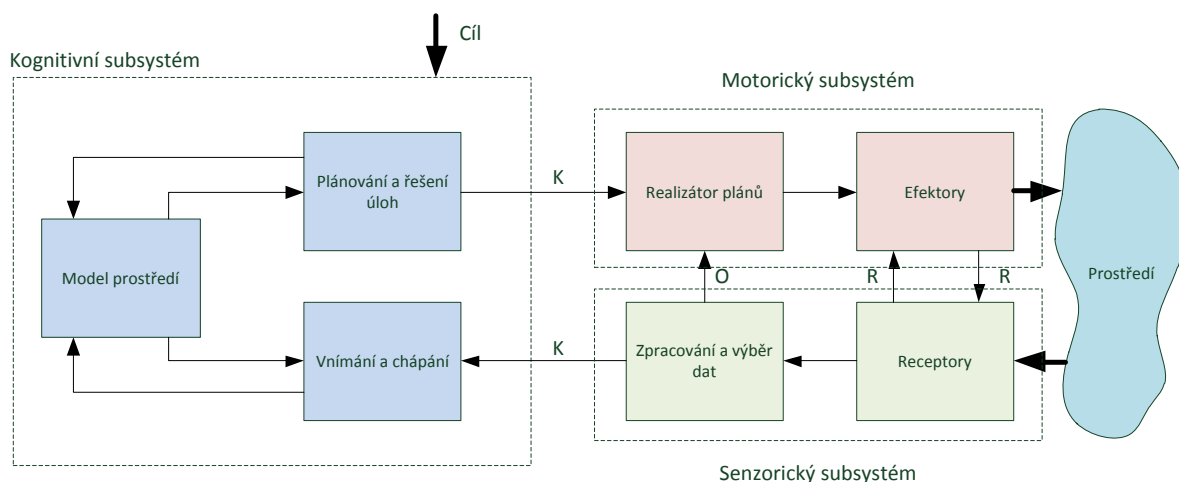
### **Mobilní roboty**

- autonomní – na základě instrukcí samostatně vykoná nějakou úlohu, často využívá prvků umělé inteligence
- dálkově ovládané – pracuje podle průběžných pokynů operátora, který získává zpětnou vazbu například pomocí virtuální reality

## **2.2 Robotika**

Robotika je vědní obor, který se zabývá konstrukcí robotů, robotických zařízení a jejich studiem. Doposud pro tento obor neexistuje ustálená definice, pouze všeobecné chápání a přirovnání ke stroji, který vykonává podobné činnosti jako člověk, a to především činnosti pohybové, rozhodovací a manipulační. Jedná se o multidisciplinární obor, který v sobě integruje několik vědeckých a inženýrských znalostí mechaniky, elektrotechniky, matematiky, měřicí techniky, teorie řízení, umělé inteligence, biomedicínského inženýrství a celé řady dalších vědních disciplín. Cílem tohoto oboru je nahrazení člověka strojem, který by v plné míře vykonával pracovní činnosti místo něj. Byť tento cíl je nám pouze znám z mnoha sci-fi filmů a knížek, ale díky snaze k jeho dosažení máme v dnešní době mnoho robotických systémů, které nám usnadňují jak práci, tak i život. Jsou to např. pohybové pomůcky, které slouží pro zdravotně postižené lidi tzv. exoskeletony, dálkové řízení strojů a mnoho dalšího.

### 3 Rozbor problematiky řízení a modelování pohybů mechanických elementů



Obr. 5 Blokové schéma obecného robotu

Robot, který by měl nahrazovat člověka, musí být schopen fyzicky ovlivňovat prostředí, ve kterém se robot nachází a v tomto prostředí se pohybovat. To zajišťuje jeho motorický subsystém, ten svými efekty prostředí ovlivňuje. Efekty také zajišťují pohyb robota v prostoru. Robot musí být schopen nějakým způsobem reagovat na prostředí a jeho změny. To zajišťuje senzorický subsystém. Nad těmito systémy je nadřazen kognitivní subsystém, ve kterém probíhá rozhodovací a hlavní řídicí činnost. V tomto subsystému je ukryta inteligence robota. Senzorický subsystém je rozdělen na dvě části, receptory, které snímají fyzikální signály z prostředí a převádí je na vhodné vnitřní signály, druhou část tvoří systém zpracování a výběru dat, který vybírá z takových signálů důležité informace pro robota. Příkladem může být snímání prostředí za pomoci kamery a vyhodnocování tvaru a polohy snímaného předmětu.

Motorický subsystém je rovněž rozdělen do dvou částí. Efekty, které provádějí zásahy do prostředí a realizátor plánů. Podle kterého jsou efekty řízeny. Kognitivní subsystém představuje nadřazené inteligentní řízení, tento subsystém provádí hlubší analýzu informace přicházející ze senzorického subsystému, taková analýza již zahrnuje vnímání a chápání. Tato analýza vyžaduje, aby robot měl vybudován nějaký model prostředí a stanoven cíl své práce. Na základě této analýzy, modelu prostředí a cíle práce se zde také provádí řešení úloh a plán akcí, které nakonec robot provede.

Kognitivní subsystém tak uzavírá nejvyšší smyčku zpětné vazby K, která je potřebná pro inteligentní chování robota. Mezi senzorickým a motorickým subsystémem existují ještě zpětnovazební smyčky nižší úrovně, je to tzv. operační smyčka O, která zajišťuje vykonávání naplánované úlohy. Operační smyčky jsou u robotů představovány např. smyčkami servomechanismů, které vykonávají potřebné pohyby. Nejnižší úroveň řízení

představují tzv. reflexivní smyčky R, které řeší základní jednoduché problémy podobně jako reflexy u člověka. Příkladem mohou být koncové spínače, tlaková čidla, optické závory a jiné senzory.[3],[8]

### 3.1 Pohyb tělesa

Základní úlohou kinematiky je zkoumání vzájemného pohybu členů kinematického řetězce, hlavně pak pohybu koncového členu vzhledem k rámu, v závislosti na kloubových proměnných. Zkoumání provádíme tak, že s jednotlivými členy pevně spojíme kartézské souřadnicové systémy a hledáme vzájemnou pozici těchto souřadných systémů, případně i rychlosti a zrychlení význačných bodů v těchto systémech. Problematiku můžeme řešit použitím vektorového nebo maticového přístupu.[7]

#### 3.1.1 Posuvný pohyb

Nejjednodušším pohybem systémů je posuvný pohyb, při tomto pohybu jsou osy pevného a pohybujícího se systému stále rovnoběžné viz. Obr. 6 a pro báze vektory systémů platí v každém čase

$$i_0 = i_1 \quad j_0 = j_1 \quad k_0 = k_1 \quad (2.1)$$

Pozice bodu  $P$  je charakterizována vektorem  $\mathbf{p}$  v souřadném systému  $0$  a vektorem  $\mathbf{r}$  v souřadném systému  $1$ . Posunutí obou systémů je charakterizováno vektorem posunutí  $\mathbf{d}$ .

Vztah mezi vektory je dán vektorovou rovnicí

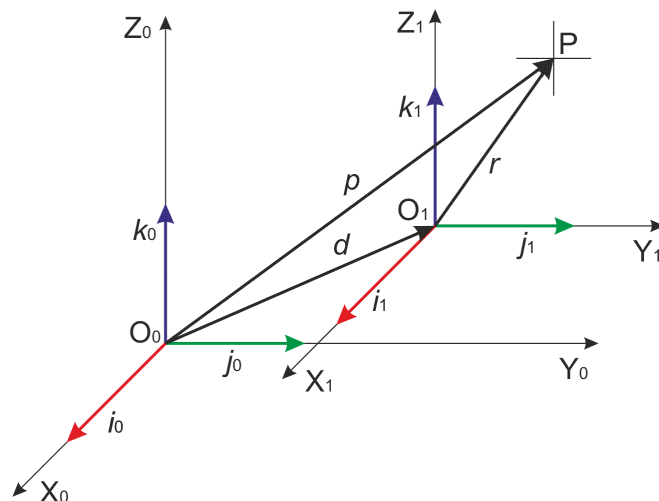
$$\mathbf{p} = \mathbf{d} + \mathbf{r} \quad (2.2)$$

Informaci o rychlosti bodu získáme derivací rovnice (2.2). Je-li bod  $P$  v systému  $1$  pevný, tak derivace vektoru  $\mathbf{r}$  podle času je nulová a dostáváme vztah

$$\mathbf{v} = \dot{\mathbf{p}} = \dot{\mathbf{d}} \quad (2.3)$$

Rychlost pohybu bodu je tedy totožná jako unášivá rychlost systému  $1$ . Podobný vztah dostaneme pro zrychlení bodu derivací rychlostí podle času

$$\mathbf{a} = \dot{\mathbf{v}} = \ddot{\mathbf{d}} \quad (2.4)$$



Obr. 6 Posunutí souřadných systémů

Jestliže se bod  $P$  vzhledem k systému  $I$  pohybuje, budou rovnice pro rychlosti a zrychlení obsahovat ještě relativní rychlost a relativní zrychlení

$$\begin{aligned}\dot{p} &= \dot{d} + \dot{r} \\ \ddot{p} &= \ddot{d} + \ddot{r}\end{aligned}\quad (2.5)$$

Jednotlivé vektory pak můžeme jednodušeji zapsat jako sloupcové matice jejich souřadnic v dané bázi

$$\begin{aligned}p_0 &= [p_{x0}; p_{y0}; p_{z0}]^T \\ d_0 &= [d_{x0}; d_{y0}; d_{z0}]^T \\ r_1 &= [r_{x1}; r_{y1}; r_{z1}]^T\end{aligned}\quad (2.6)$$

[7]

### 3.1.2 Rotační pohyb

Těleso pevně spojené se systémem  $I$  koná rotační pohyb, jestliže jedna jeho přímka zůstává trvale v klidu. Tato přímka se nazývá osa otáčení. Pro jednoduchost předpokládejme, že počátky systémů  $0$  a  $I$  jsou totožné a osa otáčení jimi prochází. Těleso pevně spojené se systémem  $I$  se otáčí kolem nepohyblivé osy otáčení, ve které leží vektor úhlu pootočení  $\Theta$  a vektor úhlové rychlosti otáčení  $\omega$ . Vektor  $p$  i vektor  $\omega$  můžeme vyjádřit v bázi  $0$  (v nepohyblivém prostoru) nebo bázi  $I$  (v pohyblivém prostoru). Vyjádření v různých bázích jsou si rovna, platí následující rovnice

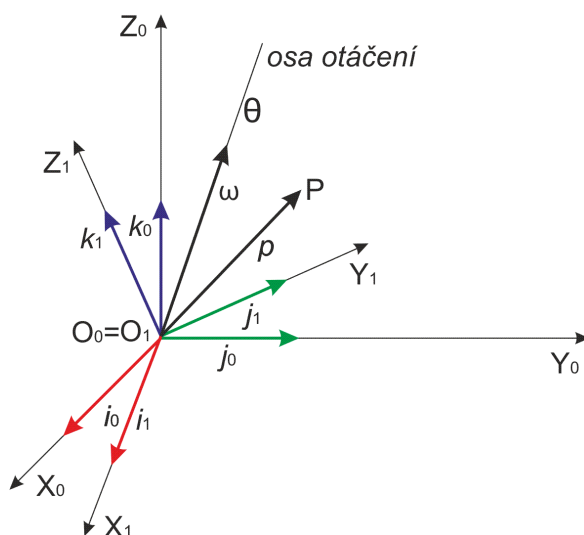
$$p = p_{x0}i_0 + p_{y0}j_0 + p_{z0}k_0 = p_{x1}i_1 + p_{y1}j_1 + p_{z1}k_1$$

$$\omega = \omega_{x0}i_0 + \omega_{y0}j_0 + \omega_{z0}k_0 = \omega_{x1}i_1 + \omega_{y1}j_1 + \omega_{z1}k_1 \quad (2.7)$$

Předpokládejme, že bod  $P$  je v systému  $I$  nepohyblivý. Derivací rovnice (2.7) dostáváme,

$$\begin{aligned} \dot{p}_{x0}i_0 + \dot{p}_{y0}j_0 + \dot{p}_{z0}k_0 &= p_{x1}\dot{i}_1 + p_{y1}\dot{j}_1 + p_{z1}\dot{k}_1 \\ &= p_{x1}(\omega \cdot i_1) + p_{y1}(j_1 \cdot \omega) + p_{z1}(k_1 \cdot \omega) \end{aligned} \quad (2.8)$$

[7]



Obr. 7 Vzájemně pootočené systémy

### 3.1 Krokový motor s pasivním rotorem

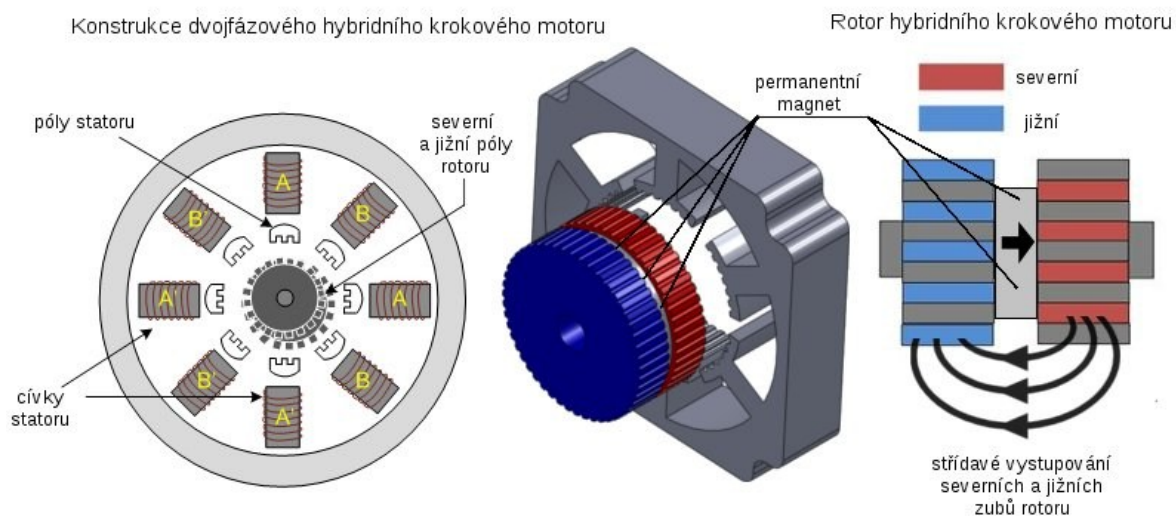
Krokový motor s pasivním rotorem je označován též jako reakční či reluktanční, nebo s proměnnou reluktancí VR. Stator je tvořen svazkem ocelových plechů s vyniklými pólovými nástavci nesoucími jednoduchá vinutí jednotlivých fází. Rotor, který může být tvořen jedním kusem ocele, nebo podobně jako stator svazkem plechů, má šest vyniklých pólových nástavců o stejné šířce jako statorové. Mezi pólovými nástavci statoru a rotoru je velmi malá vzduchová mezera – typicky 0,02 až 0,2 mm. Protilehlé páry statorových vinutí jsou zapojeny v sérii a tvoří severní a jižní pól.[5]

### 3.2 Hybridní krokový motor

Tento krokový motor představuje v současné době pravděpodobně nejužívanější typ krokového motoru. Stator je zde tvořen osmi hlavními pólovými nástavci, každý je dále rozdělen na 5 zubů. Na každém hlavním pólovém nástavci je vinutí cívky. Rotor motoru je tvořen hřídelí z nemagnetické oceli, na které jsou nalisovány dva pólové nástavce složené z plechů. Jak je patrné na Obr. 8, mezi těmito pólovými nástavci je uložen permanentní magnet (axiálně polarizován), takže rotorové pólové nástavce mají každý různou magnetickou polaritu. Pólové nástavce jsou rozděleny na 50 zubů o stejné šířce jako rotorové. Pro činnost je důležité,



že rotorové pólové nástavce (a tedy i zuby) jsou vzájemně v osovém směru natočeny tak, že proti osám jednoho jsou osy drážek druhého (jsou natočeny o polovinu rotorové drážkové rozteče).



Obr. 8 Dvoufázový hybridní krokový motor [9]Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.

### 3.3 Modelářské servomotory

Jako spolehlivé, levné a dostupné polohové jednotky natočení se ve velké míře u robotů menších rozměrů používají modelářská serva. Standardní typy poskytující kroutící moment



Obr. 9 Modelářský servomotor

kolem 30Ncm/4,8 V (při napájení zdroje 4,8 V) případně až 40 Ncm/6 V. Servo obsahuje stejnosměrný motorek, převodovku a s výstupní hřídelí spřažený miniaturní potenciometr použitý jako senzor úhlu natočení pro regulační obvod polohy. U menších a levnějších servo-motorků je potenciometr připojen přímo na výstupní hřídel, u serv vyšších kategorií je připojen přes zvláštní převod (tzv. nepřímý náhon), který velmi účinně chrání před přenosem vibrací. Žádaná hodnota natočení výstupní hřídele je ve formě šířkově modulovaného signálu (s úrovní TTL) s periodou 20ms (není kritická) a šířkou pulzu v rozmezí<sup>1</sup> od 1 až 2ms. Šířka pulzu 1ms odpovídá maximálnímu levému natočení a 2 ms pak maximálnímu pravému natočení výstupní hřídele. Střední poloha hřídele je při šířce pulzu 1,5 ms. Úhel natočení bývá u většiny servomotorů  $\pm 90^\circ$ . Poloha výstupní hřídele je mimo tento rozsah mechanicky aretována na převodovce.

Převodový poměr určuje poměr mezi rychlostí a tahem serva. Běžné je, že se serva vyrábějí ve dvojicích, které mají stejný motor a elektroniku, ale liší se převody – např. HS-625 a HS-645. Jedno z nich nabízí vyšší kroutící moment při nižší rychlosti, druhé má zvýšenou rychlost

<sup>1</sup> Závisí na typu serva

na úkor momentu. Převody jsou nejčastěji plastové, pro větší zatížení a větší spolehlivost pak kovové.

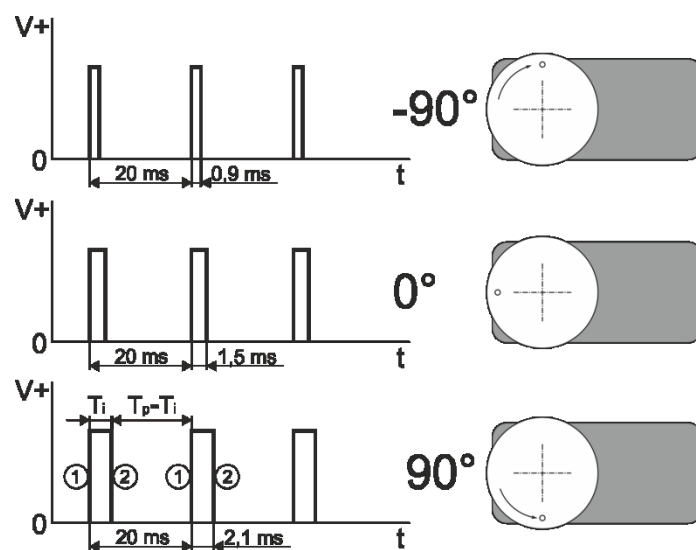
Na vstup serva periodicky přichází řídicí impuls, který spustí monostabilní klopný obvod, ten vygeneruje impuls o délce odpovídající momentální poloze serva, ale opačné polarity než je vstupní řídicí impuls. Tyto dva impulzy se porovnávají a výsledkem je rozdílový impuls, který po zesílení přes můstkový spínač způsobí natočení elektromotoru jedním nebo druhým směrem. Elektromotor přes převodovku otáčí výstupní hřídeli a současně i potenciometrem, který působí jako zpětná vazba polohy do monostabilního klopného obvodu. Směr otáčení je takový, že impuls generovaný monostabilním klopným obvodem se svojí délkou přibližuje délce vstupního řídicího impulsu a až jsou oba impulzy stejně dlouhé, elektromotor se zastaví. Servo dosáhlo polohy, která odpovídá momentálně přijatému řídicímu impulsu.[8]

### **3.4 Pulzně šířková modulace**

Nejběžnějším způsobem řízení malých serv je ovládání pomocí pulzně šířkového signálu (PWM). Tento způsob řízení se původně používal k předávání informace modelářským servům, ale s rozvojem a snižující se cenou mikroprocesorů nalézá uplatnění i v průmyslových zařízeních. Tento signál je dvoustavový čili nabývá jen logických stavů 0 a 1 (0 V / 5 V), ale přenosovou veličinou je doba jeho trvání. Takovýto signál je snadno generován mikroprocesorem a také zpracován. Způsob jakým je servo tímto signálem řízeno ukazuje Obr. 10. Výhodou takového typu signálu je jeho značná odolnost proti rušení v porovnání se signálem analogovým. Signál typu PWM je také možno snadno přenést optickým kabelem a tím je kromě odolnosti proti rušení zaručeno i galvanické oddělení serva od řídicího systému.

#### **Digitální**

Nejpokročilejším, ale také nejsložitějším způsobem ovládání serv je přenos informací o poloze serva digitálním signálem, který může obsahovat informaci o poloze serva, jeho rychlosti pohybu, akceleraci a točivém momentu, se kterým má servo pracovat. Modelářská digitální serva jsou většinou jakýmsi hybridem mezi servem klasickým, protože vysílačem zpětné vazby je zpravidla klasický potenciometr, ale signál je zpracováván mikroprocesorem, který také přijímá řídicí signály v digitální podobě. V poslední době ale už se objevují skutečně precizní serva, u kterých je vysílačem zpětné vazby je digitální magnetický enkodér, který zaručuje skutečně precizní polohování.



Obr. 10 Řízení serva pomocí PWM

### 3.5 Dělení servomotorů

#### Podle velikosti

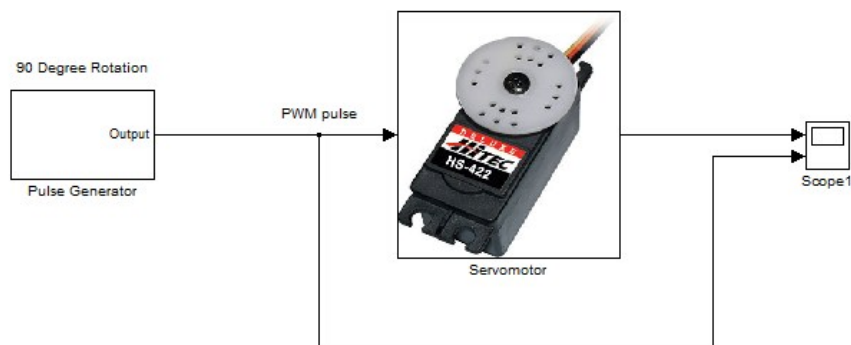
Velikost servomotoru podstatně ovlivňuje jeho sílu, dá se říct, že jeho tah je zhruba úměrný velikosti motoru, která je závislá na velikosti obalu. V Tab. 1 jsou porovnány nejdůležitější parametry jednotlivých typů servomotorů.

Označení	Rozměry [mm]	Tah při 4,8V [kg.cm]	Hmotnost [g]	Rychlost při 4,8V [sec/60°]
<b>Micro</b>	23x10x19 12x12x24	0,9-2,0	6-12	0,06-0,12
<b>Mini</b>	30x10,8x29 35,5x15x28,6	2,0-4,5	17-26	0,11-0,24
<b>Standard</b>	40x20x36,6 41x20x38,2	2,4-13	42-55	0,11-0,26
<b>Maxi</b>	59x29x50 59x30x52	10,0-20,8	100-152	0,19-0,32

Tab. 1 Srovnání parametrů modelářských serv

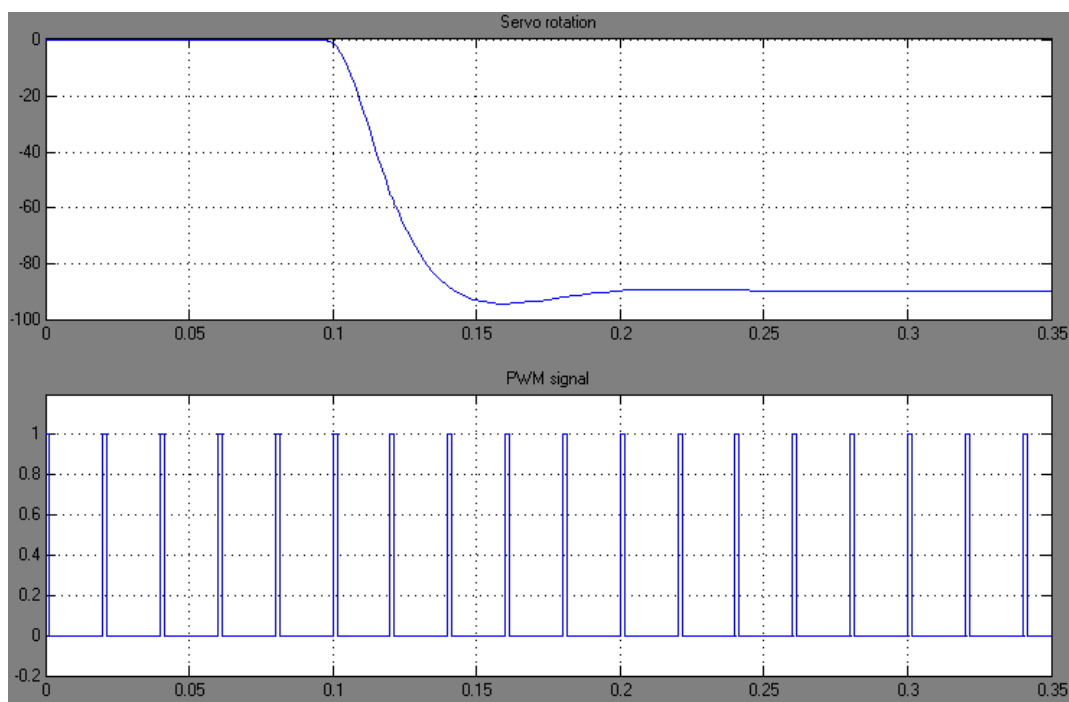
### 3.6 Simulace v Matlab Simulinku

Simulace modelářského serva byla provedena v programu Matlab Simulink, tento model je zobrazen na Obr. 11. Vnitřní struktura servomotoru HS-422 (mechanická a elektrická část) navržena v Simulinku, odpovídají udávaným parametrům výrobce.



Obr. 11 Model serva v Matlab simulinku

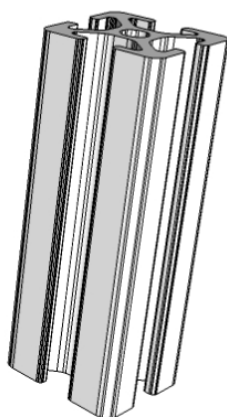
V grafu (Obr. 12) je zobrazen průběh otočení servomotoru o  $90^\circ$  za čas 0,2s nastane ustálení na požadované hodnotě  $90^\circ$ . Ve spodním grafu je zobrazen průběh PWM signálu se střídou 2,1ms, což odpovídá definovanému úhlu otočení.



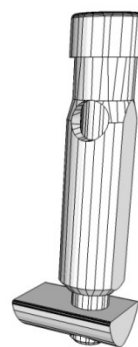
Obr. 12 Pohyb serva a PWM signál

## 4 Realizace autonomního řídicího systému

Skelet robotické hlavy tvoří hliníkové elementy od firmy Haberkorn Ulmer s.r.o, která je výhradním dodavatelem jednoho z celosvětově nejprodávanějších modulárních systémů hliníkových profilů – německé firmy item Industrietechnik GmbH. Společnost item působí na trhu již více než 35 let a disponuje nejširší škálou kvalitně zpracovaných komponentů a příslušenství sloužících k optimálnímu řešení i složitějších aplikací. Základním prvkem celé konstrukce je profil 5 o rozměrech 20x20mm, spojení konstrukce zajišťují šrouby a drážkové matice, tyto prvky jsou zobrazeny na Obr. 13 a Obr.14.



Obr. 13 Prifil 5 - 20x20mm



Obr. 14 Šroub s drážkovou maticí

Robotická hlava je vymodelovaná v 3D zobrazení pro orientaci a rozmísťování elementů. Tento model je vytvořen pomocí programu SketchUp od firmy Google, jedná se o bezplatné 3D modelovací prostředí, které podporuje velké množství vstupních i výstupních formátů.

### 4.1 Základní pohyby robotické hlavy

Základní pohyby konstrukčních elementů zajišťuje soustava kuličkových ložisek, která jsou připevněna do hliníkových polotovarů. Pro dosažení vhodného uložení ložisek s válcovou dírou a válcovým vnějším povrchem byla vhodně zvolena tolerance podle tolerančního systému ISO. Podle uvedených norem byly vyfrézovány patřičné otvory a ložiska do nich vložena.



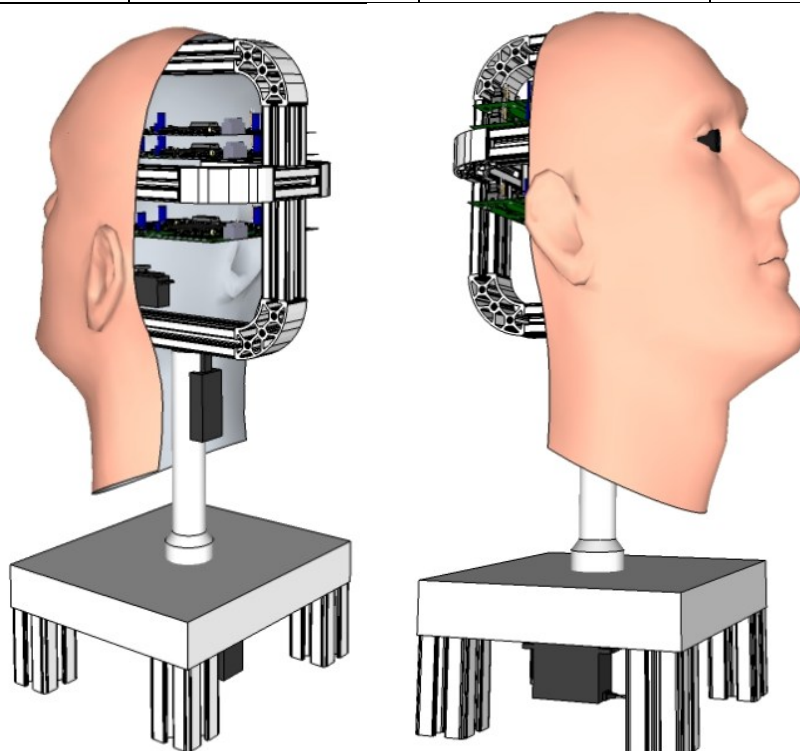
Obr. 15 Detail uložení ložiska - hlava



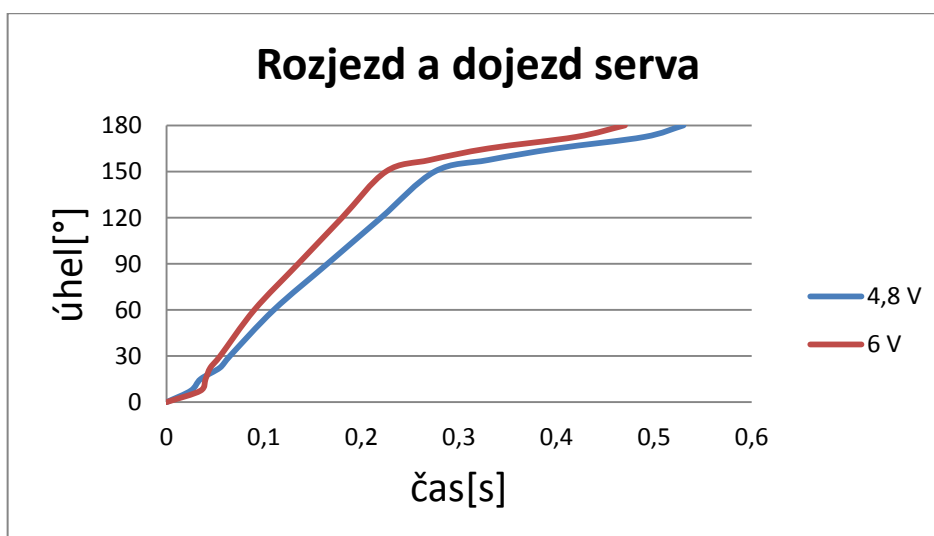
Obr. 16 Detail uložení ložiska - oko

Tab. 2 použitá kuličková ložiska

ložisko	Průměr hřídele	umístění	pohyb
608Z	8mm	oči	horizontální
608Z	8mm	oči	vertikální
6005	25mm	hlava	horizontální



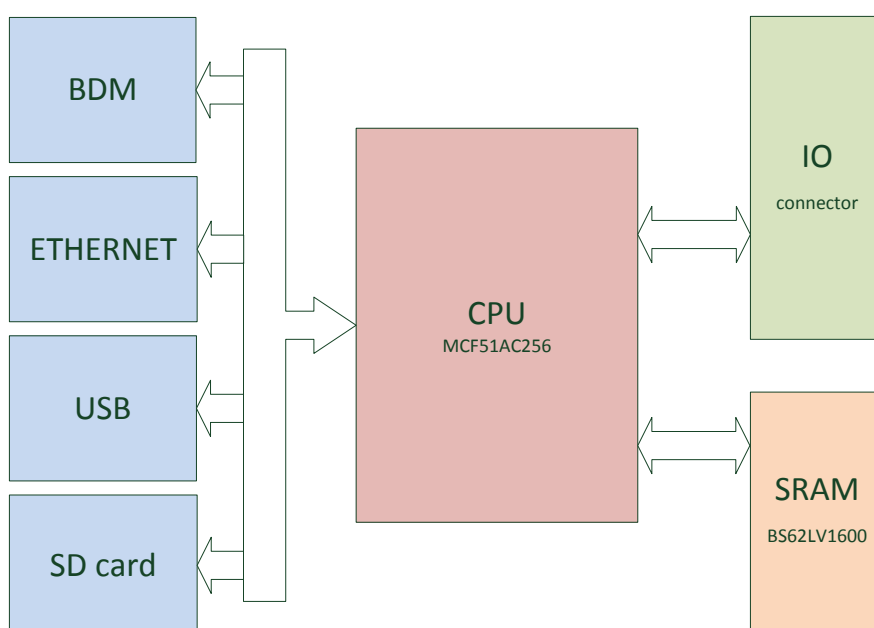
Obr. 17 3D model kybernetické hlavy



Obr. 18 Graf rozjezdu a dojezdu serva HS-81

## 4.2 Řídící deska

Řídící desky jsou vytvořené ve velikosti 100x80 mm, jedná se o rozměry, vhodné pro vložení do konstrukce hlavy, aniž by DPS zasahovala do okolního prostředí. V celé konstrukci jsou vloženy celkem tři totožné řídící desky, které zajišťují jednotlivé operace, první řídící deska obstarává zpracování zvuku, druhá se zabývá zpracováním obrazu a poslední DPS slouží pro ovládání pohybů celé konstrukce. Komunikace mezi jednotlivými subsystémy sloužícími pro své primární úkoly je zajištěna sběrnici CAN. Srdcem řídící desky je mikrokontrolér MCF51AC256 Coldfire od firmy FREESCALE. Na Obr. 19 je uvedeno blokové schéma řídící desky, na kterém jsou vyobrazeny základní periférie.



Obr. 19 Blokové schéma řídící desky

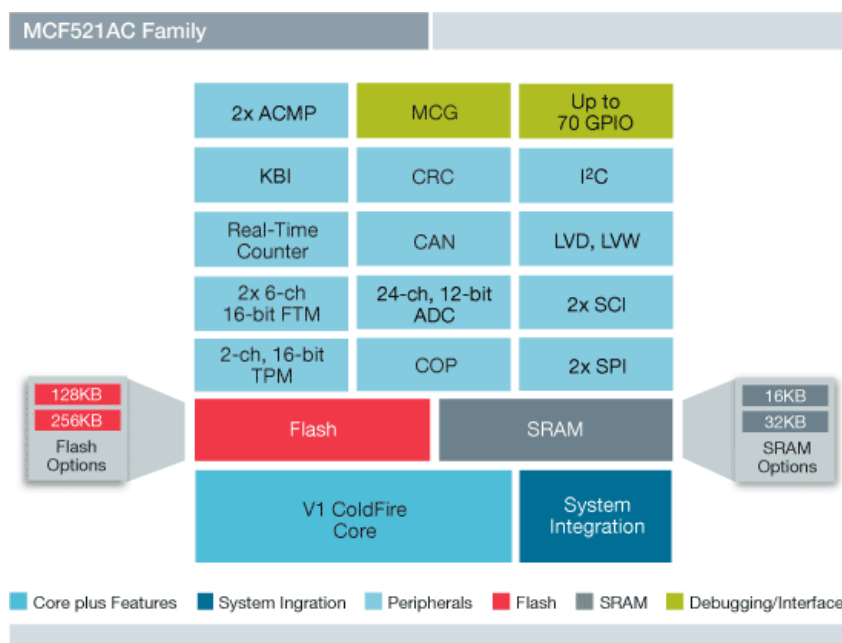
### 4.3 FREESCALE MCF51AC256

Vlastnosti:

- 50MHz 32bitové jádro ColdFire V1 s 25MHz sběrnici
- 32kB SRAM
- 256 kB Flash
- msCAN rozhraní
- SPI, SCI a I<sup>2</sup>C
- 24kanálový 12bit ADC
- Pouzdro 80LQFP



Obr. 20 MCF51AC256

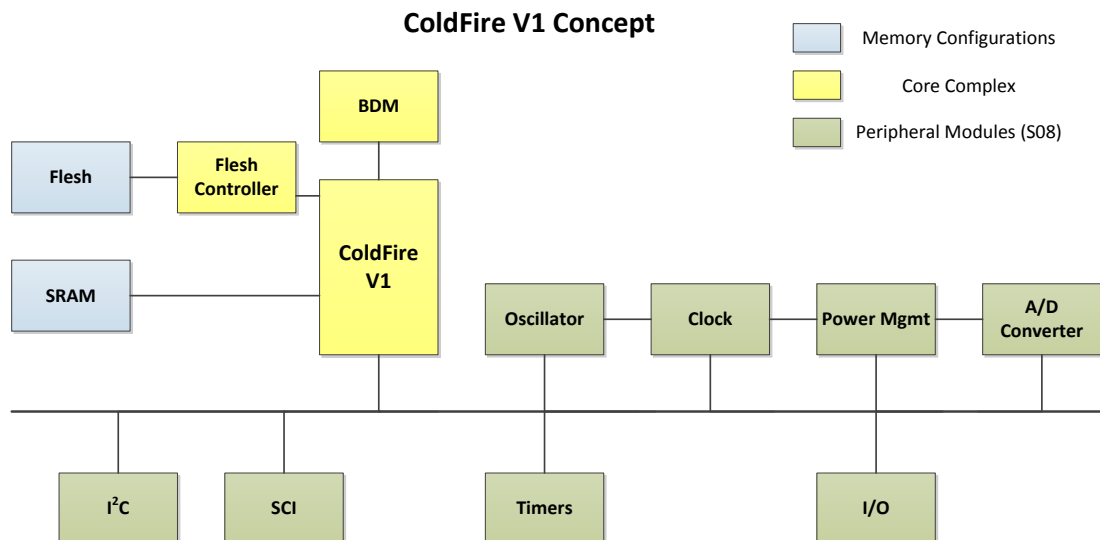


Obr. 21 Vlastnosti MCF54AC rodiny [10]

### 4.4 Jádro ColdFire V1

Jádro 68K/ColdFire V1 poskytuje motor pro 32bitová zařízení, které jsou kompatibilní s 8bitovými, a tak zajišťuje snadný pohyb mezi těmito architekturami. Produkty založené na jádru V1 používají stejné periferní moduly a vývojové nástroje jako produkty založené na architektuře S08, což zjednodušuje vývoj a zajišťuje kompatibilitu.[11]





**Obr. 22 Vnitřní struktura jádra ColdFire V1**

ColdFire V1 je navržen tak, že nabízí více výkonu než 8bitové mikrokontroléry při nižší spotřebě než je tomu u dostupných 68K/ColdFire produktů. Jádra 68K/ColdFire V1 jsou vybavena úplnou sadou registrů architektury ColdFire a podporují stejný programovací model jako jádra 68K/ColdFire V2-V4. V1 používá strukturu sběrnice S08, což umožňuje použití podobných periférií a paměťových modulů. K dispozici je jednovývodový ladící režim S08, který zajišťuje jednoduchou konfiguraci.

#### **V1 ColdFire procesorové jádro**

- Podpora instrukční sady ColdFire Revize C
- Programovací model s 16 univerzálními 32bitovými datovými a adresovacími registry
- Podpora MAC, EMAC a CAU
- Frekvence jádra až 50MHz
- 0.85 Dhrystone 2.1MIPS / MHz při práci z Flash, 1.05 DMIPS při práci z RAM

#### **Ladění**

- Standardní ColdFire Debut B+ v jednovývodovém rozhraní BDM
- Podpora odladování v reálném čase s šesti hardwarovými body přerušení (4x PC, 1x adresa, 1x data), které lze nastavit na 1-2úrovňový trigger s programovatelnou odezvou

#### **Paměť**

- Dvoucyklová flash paměť pro text a čtení dat
- Jednocyklová RAM

## 4.5 Návrh řídicí desky

Schéma řídicí desky pro ovládání periférií robotické hlavy, viz. Příloha 1 - ½ a Příloha 2 - 2/2 bylo navrženo v programu EAGLE, sloužícímu k návrhu schémat a plošných spojů. Tento program je u nás jedním z nejrozšířenějších zahraničních návrhových systémů pro elektroniku. Návrhový systém EAGLE se skládá ze tří samostatných modulů:

Editor schémat

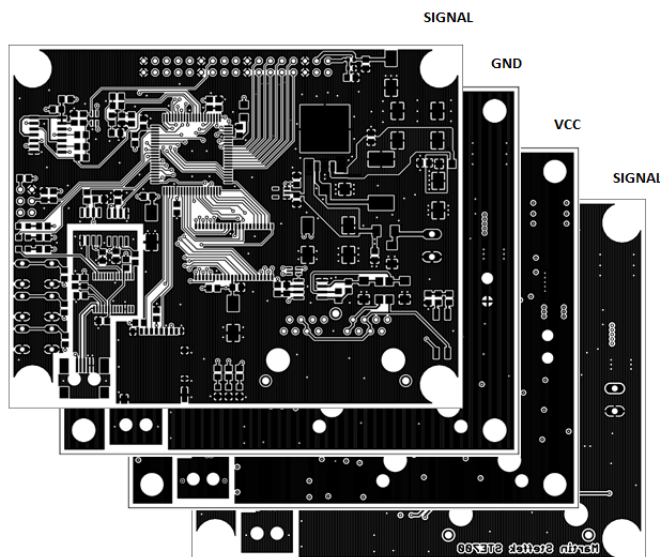
Editor plošných spojů

Autorouter

Rozvoj elektroniky, zejména mikroprocesorové techniky, radikálně mění jak koncepci a způsoby použití elektronických zařízení, tak i nároky na jejich instalaci a umístění. Přenos informací, automatické zpracování a záznam dat jsou vystaveny působení rušivých vlivů, pocházejících z rozmanitých průmyslových zdrojů rušení, jako například výkonových spínačů, stykačů, relé, motorů, měničů atd. Bezvýznamné není ani rušení elektronických zařízení navzájem. Rušivý vliv prostředí, projevující se nežádoucími vazbami, interferenčním šumem, rezonančními a přechodovými jevy, může vyvolat nejen nesprávnou funkci elektronických zařízení nebo znehodnocení přenosu a záznamu dat, ale v extrémních případech způsobit až destrukci citlivých elektronických obvodů. Proto se v současné době stává jedním z rozhodujících faktorů při návrhu elektronických zařízení právě jejich zvýšení odolnosti na jedné straně a omezení vyzařování na straně druhé, jinými slovy – zajištění elektromagnetické slučitelnosti (kompatibility) elektronických zařízení.[2],[5]

### Postup při návrhu

První fází návrhu v programu EAGLE byl výběr správných součástek dle typu a velikosti z editoru knihoven. Při návrhu plošného spoje byl kladen důraz na velikost výsledné DPS, tudíž plošný spoj byl navrhnut na čtyřvrstvou DPS, kde zemní potenciál je vzájemně propojen. Velikost řídicí desky je 100x80mm. Jednotlivé vrstvy jsou navrženy tak, aby pod vrstvou TOP, na které jsou umístěny veškeré součástky, byla zemnicí vrstva. Ve třetí vrstvě desky jsou vyvedeny příslušné napěťové hladiny pro komponenty s odlišnými vstupními napěťovými úrovněmi. Poslední vrstva BOTTOM zajišťuje správné propojení jednotlivých cest. Pro správnou orientaci při práci s DPS je na vrstvě top servisní potisk s popisky součástek. Výroba DPS byla zajištěna firmou PragoBoard s.r.o, která se dlouhodobě zabývá výrobou plošných spojů. Pro zajištění správného návrhu v prostředí EAGLE, byly předem definovány minimální konstrukční limity pro výrobu a pravidla návrhu v nástroji DRC (Design Rules Check). Tento nástroj upozorní konstruktéra při nedodržení pravidel návrhu a minimalizuje případné komplikace při výrobě.

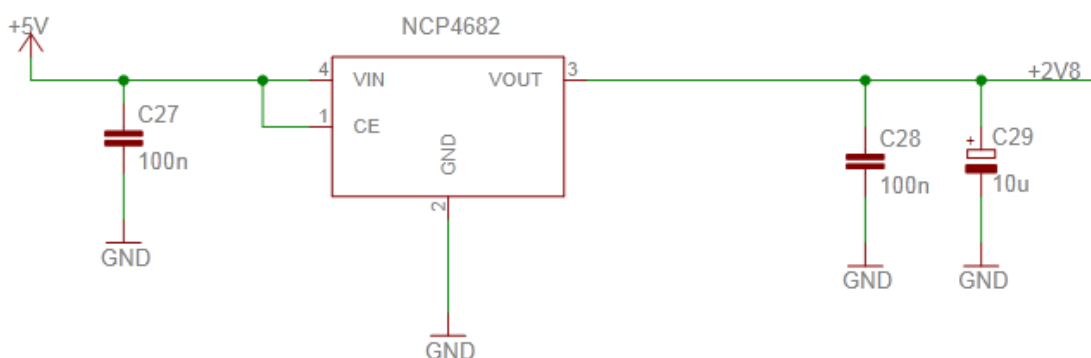


Obr. 23 Rozložení řídicí desky

Pro snížení rušivých vlivů a minimalizaci rozměrů DPS je řídicí deska rozdělena dalšími vrstvami pouze napájení (VCC a GND). Tyto vrstvy (plochy) snižují impedanci napájení a významně minimalizují plochy proudových smyček signálových spojů. Výsledkem bude snížení vyzařování až o 25dB (Obr. 23). Takto opravené zařízení je možné uvést na trh, ovšem za cenu zhruba dvojnásobných nákladů na výrobu DPS, což není vhodné pro sériovou výrobu.

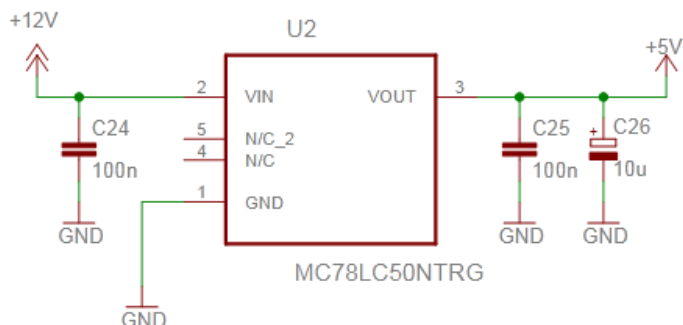
#### 4.6 Schéma

Úroveň napětí 2,8V pro napájení kamerového čipu, který zpracovává obraz, je zajištěna lineárním stabilizátorem napětí NCP4682 od firmy ON Semiconductor. Tento stabilizátor může díky použité technologii CMOS dodat výstupní proud až 150mA. Dále podporuje výstupní proudovou ochranu a nabízí také plně integrovaný obvod měkkého startu pro minimalizaci nárazových odběrů a zajištění, že zde nebude docházet k žádným překmitům výstupního napětí. Přesnost výstupního napětí činí  $\pm 0,8\%$ , což je nezbytné pro napájení kamerového čipu.



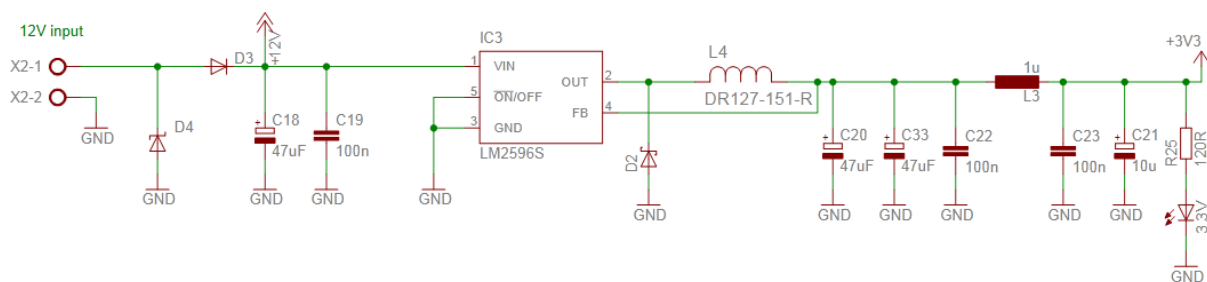
Obr. 24 Stabilizátor NCP4682

Pro univerzální použití navržené řídicí desky je na vstupně výstupní konektor přivedeno napětí 5V, které je zajištěno regulátorem MC78LC50NTRG od firmy ON Semiconductor.



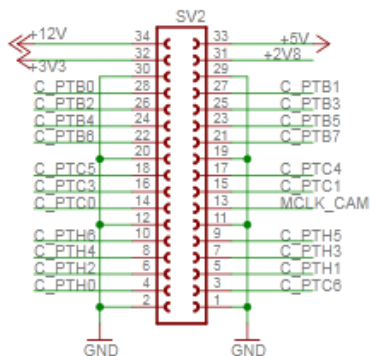
Obr. 25 regulátor napětí MC78LC50NTRG

Nezbytná úroveň napětí 3,3V pro napájení většiny komponentů, včetně samotného mikrokontroléru, je realizována pomocí spínatelného regulátoru napětí LM2596S od firmy National Semiconductor.



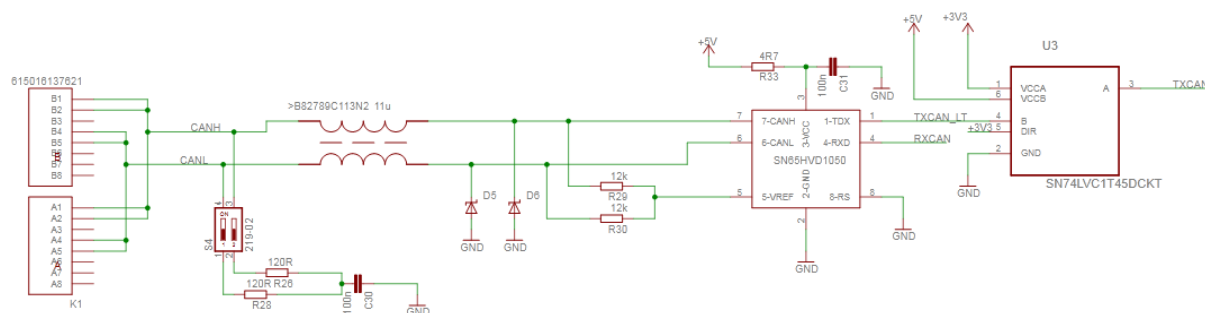
Obr. 26 Spínaný regulátor LM2596S

Pro univerzální použití navržené DPS jsou na konektor přivedeny nejčastěji používané napěťové úrovně, dále jsou zde vyvedeny programovatelné piny z mikroprocesoru. Pro správný chod kamerových čipů jsou na konektor vyvedeny externí hodiny (MCLK\_CAM).



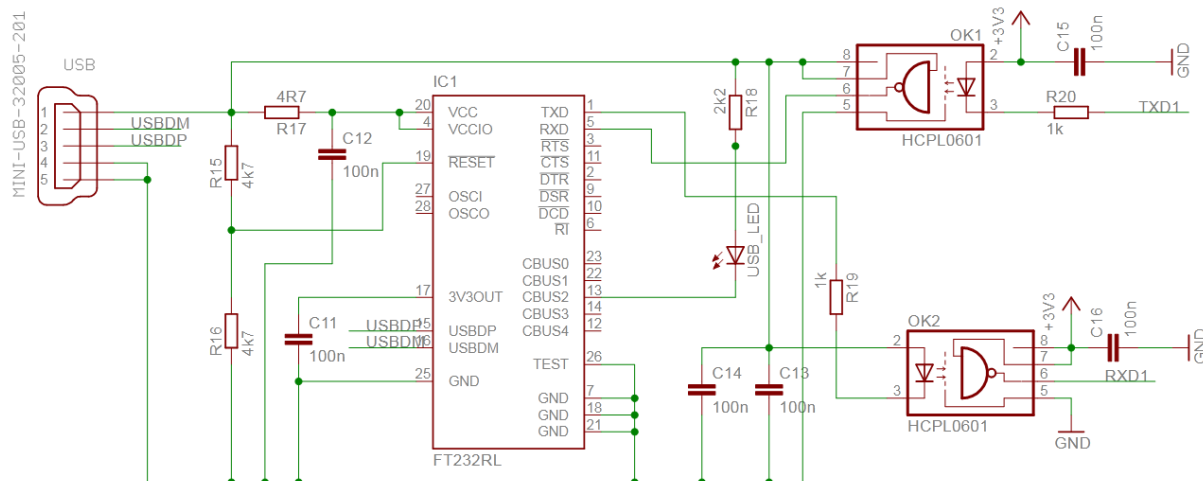
Obr. 27 Rozložení napěťových úrovní na konektoru

Komunikační rozhraní mezi jednotlivými řídicími deskami zajišťuje sběrnice CAN, která je propojena pomocí ethernetových konektorů. Změnu napětové úrovně zajišťuje obvod SN65HVD1050, jedná se o level transciever od firmy Texas Instruments.



Obr. 28 Sběrnice CAN

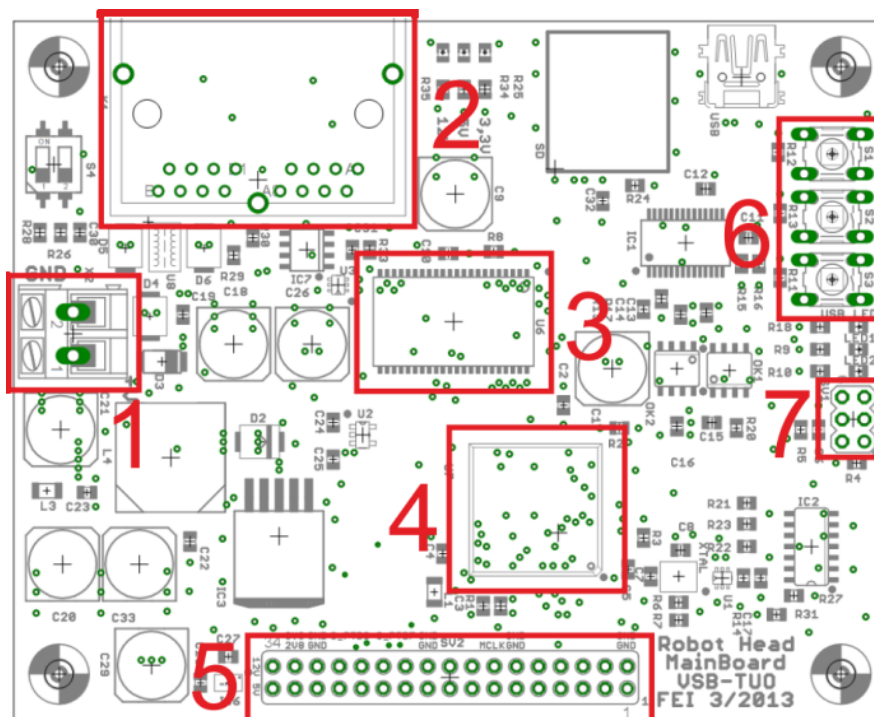
Sériová linka, sloužící pro komunikaci mezi PC a řídicí deskou je realizována pomocí obvodu FT232RL, jedná se o jednočipový USB-RS232 převodník, který je kompatibilní s USB 1.1 i USB 2.0 a podporován většiny operačními systémy. Sériové rozhraní je odděleno pomocí optočlenů HCPL0601. Schéma převodníku je uvedeno na Obr. 29



Obr. 29 USB-RS232 převodník

## 4.7 Plošný spoj

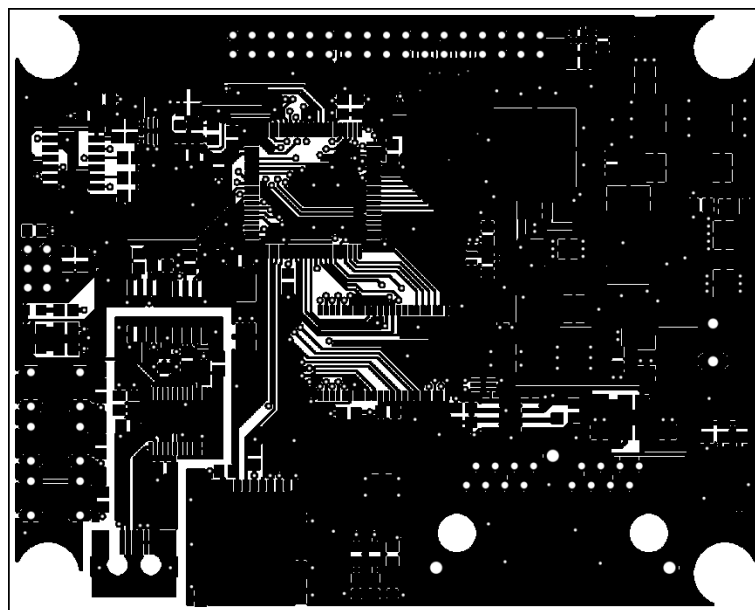
Součástky a konektory jsou rozmístěny účelně do okrajů DPS a na příslušné místo. Je-li řídicí deska zakomponována do robotické hlavy, tak přístup k těmto elementům není příliš komplikovaný.



Obr. 30 Rozložení součástek a prokůvů

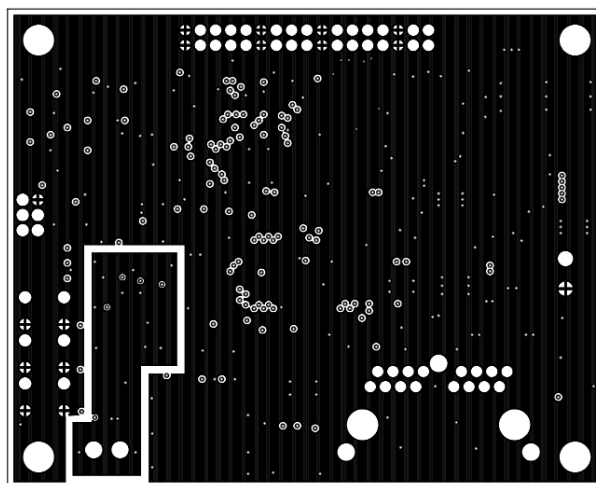
- 1 – Napájení 12V
- 2 – Double ethernet konektor
- 3 – SRAM
- 4 – MCF51AC256
- 5 – I/O konektor
- 6 – Uživatelská tlačítka
- 7 - BDM

Řídicí deska je vytvořena tak, aby sloužila pro studenty jako vývojový kit, na vstupně/výstupní konektor jsou přivedeny napěťové úrovně (12V, 5V, 3,3V a 2,8V) viz Obr. 27, zbývající piny konektoru jsou přivedeny na programovatelné piny MCU. V rozích jsou umístěny montážní otvory pro připevnění DPS do robotické hlavy.



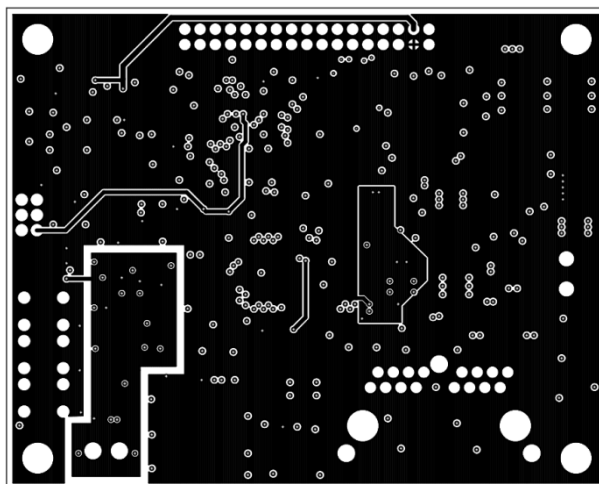
Obr. 31 Vrstva TOP

Na vrstvě TOP jsou umístěny veškeré součástky pro povrchovou montáž. Rezistory a kondenzátory jsou voleny ve velikosti 0805. Pro lepší orientaci v rozmístěných součástkách, je řídicí deska opatřena servisním potiskem, na kterém je zobrazen popis jednotlivých elementů. Tlačítka S1 a S2 slouží pro uživatelskou konfiguraci, rovněž i led diody LED1 a LED2. Zbývající led diody signalizují napěťové úrovně (12V, 5V a 3,3V). Poslední led dioda LED\_USB je rozsvícena při připojení sériové linky přes USB.



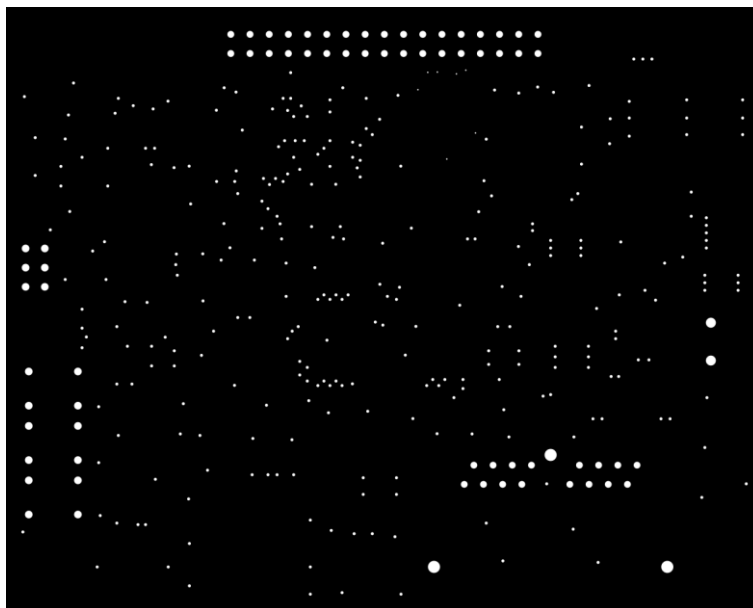
Obr. 32 Druhá vrstva GND

Druhá vrstva řídicí desky, zobrazena na Obr. 32, je tvořena zemnicí plochou po celém rozměru, pro lepší izolaci a eliminaci rušení. Uspořádání je zvoleno tak, aby plochy minimalizovali proudové smyčky signálových spojů. Dále je zajištěno oddělení zemnicích smyček mezi USB a řídicí deskou. Toto oddělení je realizováno optočleny.



**Obr. 33 Třetí vrstva**

Na třetí vrstvě řídicí desky jsou odděleny napěťové úrovně a spoje mezi nimi. Tato plocha obsahuje pouze napěťové úrovně, signálové cesty jsou vyhrazeny pouze pro vrstvu TOP a BOTTOM.

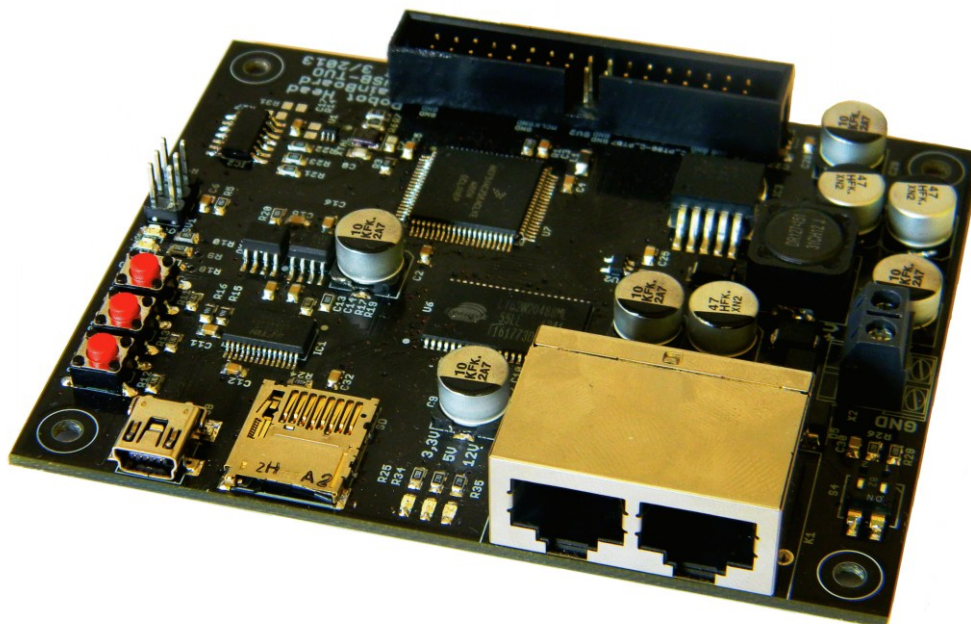


**Obr. 34 Vrstva BOTTOM**

Vrstva BOTTOM obsahuje vodivé cesty, zajišťující správné propojení jednotlivých součástek a příslušných pinů. Obsahuje také jméno autora.

Na Obr. 35 je vyobrazena již výsledná řídicí deska, při osazování součástek byl kladen důraz na eliminaci poškození součástek, byl použit antistatický náramek a podložka.





Obr. 35 Výsledná deska

#### 4.8 Pohybová část

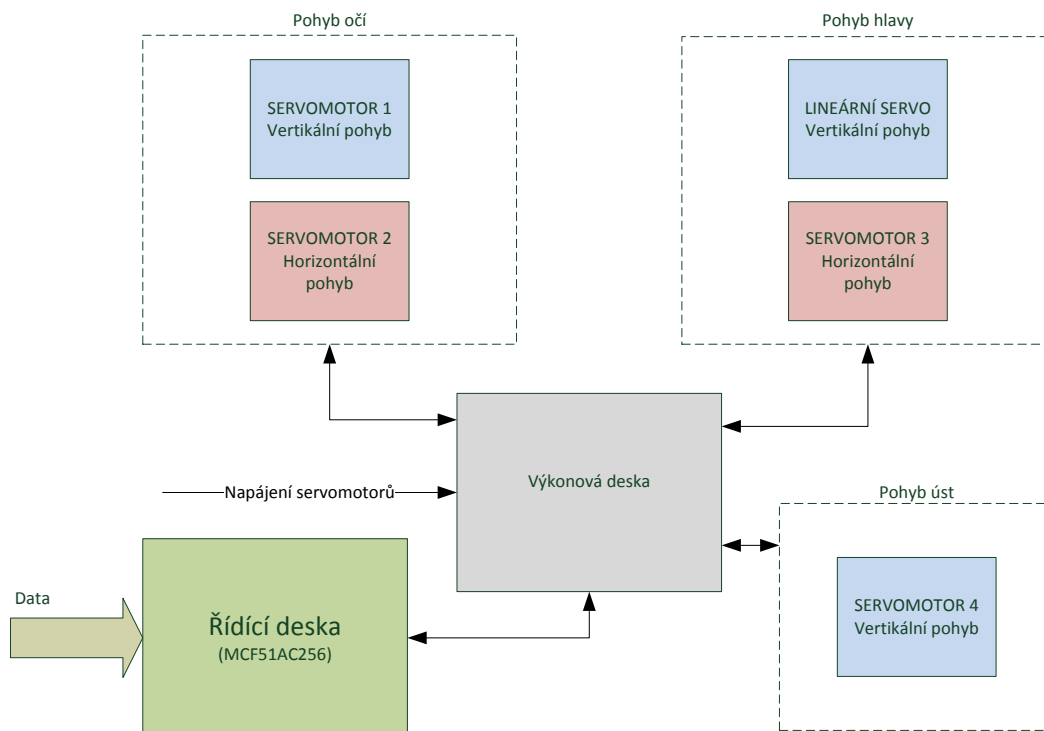
Pohybová část je tvořena pětici servopohonů, které jsou připojeny na výkonovou DPS, kam jsou přivedeny jednotlivé ovládací signály, a napájení servopohonů. Propojení mezi řídicí deskou a výkonovou DPS je zajištěno pomocí plochého vodiče se samozařezávacími konektory. Na blokovém schématu, Obr. 37 je zobrazeno propojení mezi řídicí deskou a výkonovou DPS, na kterou jsou přivedeny vodiče pro ovládání serv. Vertikální pohyb kybernetické hlavy je zajištěn pomocí lineárního serva L12-NXT-50 od firmy Firgelli, toto lineární servo má délku výsuvu 50mm a sílu 43N.



Obr. 36 Lineární servo L12-NXT-50

**Tab. 3 Vlastnosti použitých modelářských serv**

Servo	Description	Torque 4.8/6.0V Ncm	Speed 4.8/6.0V sec	Bearing	Gear- Type	Size LxWxH mm	Weight g
HS-81	Micro	26/30	0.11/0.09	None	Nylon	30x12x29	41441
HS-422	Deluxe	33/41	0.21/0.16	Dual Oilite	Nylon	40.6x19.8x36.6	45.5



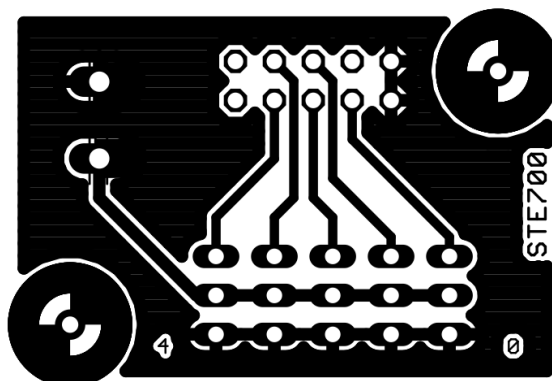
**Obr. 37 Blokové schéma pohybového ústrojí**

V Tab. 4 jsou uvedeny pohyby, které zajišťují servopohony a jejich připojení k mikrokontroléru.

**Tab. 4 rozložení PWM signálů**

Pin MCU	Komponenta	Pohyb
PTH0_FTM2CH2_AD1P20	PWM1:PWM	Hlava horizontal
PTH1_FTM2CH3_PSTCLK0_AD1P21	PWM2:PWM	Hlava vertikál
PTH2_FTM2CH4_PSTCLK1_AD1P22	PWM3:PWM	Oči horizontál
PTH3_FTM2CH5_BKPT_AD1P23	PWM4:PWM	Oči vertikál
PTB1_TPM3CH1_AD1P1	PWM5:PWM	Ústa vertikál

Na Obr. 38 je zobrazena rozvodná DPS pro připojení pěti serv, které zajišťují základní pohyby mechanické části celé kybernetické hlavy.



Obr. 38 Deska pro servomotory

## 5 Implementace programové části

Softwarová část pro ovládání pohybů robotické hlavy byla tvořena jazykem C v programovacím prostředí CodeWarrior 10.2 od firmy FREESCALE, které je integrovanou sadou vývojových nástrojů pro architektury ColdFire. Nástroje CodeWarrior obsahují ANSI C/C++ kompilátor a knihovny speciálně navržené pro zvýšení výkonu a redukci velikosti kódu embedded aplikací na mikroprocesorech a mikrokontrolérech ColdFire. Tento programovací nástroj využívá plné možnosti mikrokontrolérů firmy Freescale. Mezi hlavní výhody patří nástroje pro trasování procesoru v reálném čase a velké množství podpůrných knihoven. Tyto knihovny dovolují jednoduchý přístup k vnitřním registrům mikrokontrolérů a nastavování jednotlivých bitů v registru. Princip je založen na maskování jednotlivých bitů, přičemž konečný zápis je pak pro programátory dobře čitelný.

### **Základní vlastnosti:**

- Nový „Project Wizard“ s nápovědou
- Optimalizovaný C/C++ kompilátor s novými knihovnami
- Grafický, source-level debugger
- Podpora programování Flash pro zařízení s on-chip Flash a externí paměti
- UNIS Processor Expert
- UNIS Device Initialization – nástroj pro generaci inicializačního kódu on-chip periférií a ColdFire MCU

### **5.1 Definice základních veličin**

Následující výstřížek kódu popisuje definici základních veličin.

```
#ifndef GENERAL_CONFIG_H_
#define GENERAL_CONFIG_H_
#define DUTY_CENTER 1500           // center position
#define DUTY_MIN 900               // min position
#define DUTY_MAX 2100             // max position
#define ANGLE_MIN -45              // angle -45
#define ANGLE_MAX 45              // angle 45
```

DUTY\_CENTER – středová poloha serva

DUTY\_MIN – minimální střída pro otočení serva o 90° doleva

DUTY\_MAX – maximální střída pro otočení serva o 90° doprava

ANGLE\_MIN – otočení serva o 45° doleva

ANGLE\_MAX – otočení serva o 45° doprava

## 5.2 Krokování serva

Krokování serva o stupeň otočení je zajištěno přepočtem

$$krok = \frac{\text{maximální střída} - \text{středová poloha}}{\text{úhel}} \quad (5.1)$$

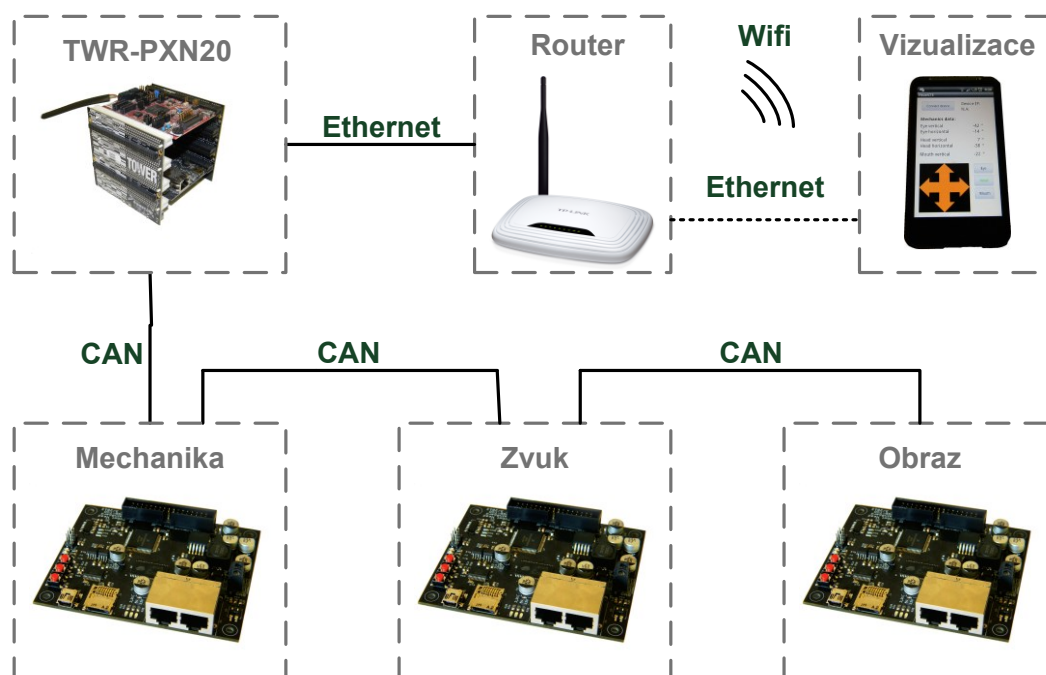
```
uint16_t DutySetting (int8_t value)
{
    int16_t tmp;

    if(value >0)
    {
        tmp = (((int16_t)DUTY_MAX -
DUTY_CENTER)) / (ANGLE_MAX);
        tmp *= (value);
        tmp+=DUTY_CENTER;
    }
    else
    {
        tmp = (((int16_t)DUTY_MIN -
DUTY_CENTER)) / (ANGLE_MAX);
        tmp *= (-value);
        tmp+=DUTY_CENTER;
    }
    return (uint16_t) (tmp);
}
```

## 5.3 Komunikační protokol

Komunikační protokol definuje zasílání a příjem zpráv mezi řídicími subsystémy, tento protokol obsahuje informace o nastavení poloh a limitů jednotlivých serv. Komunikační protokol pro nastavení mechaniky je shrnut do tabulky a uveden v Příloha 4 - Tab. 7

Specifikace protokolu CAN definuje čtyři typy zpráv. První dvě se týkají datové komunikace po sběrnici. Je to jednak datová zpráva, která představuje základní prvek komunikace uzlů po sběrnici, a dále pak zpráva na vyžádání dat, kdy uzel žádá ostatní účastníky na sběrnici o zaslání požadovaných dat. Datová zpráva umožňuje vyslat na sběrnici 0 až 8 datových bajtů. Pro jednoduché příkazy uzlům (např. příkazy typu vypni/zapni) není nutné přenášet žádné datové bajty (význam příkazu je dán identifikátorem zprávy), což zkracuje dobu potřebnou k přenosu zprávy a zároveň zvětšuje propustnost sběrnice, zvláště pak při silném zatížení. Na Obr. 39 je uvedeno blokové schéma komunikace celého systému.



Obr. 39 Blokové schéma komunikace

## 5.4 Příjem dat

Zprávy vysílané po sběrnici protokolem CAN neobsahují žádnou informaci o cílovém uzlu, kterému jsou určeny, a jsou přijímány všemi ostatními uzly připojenými ke sběrnici. Každá zpráva je uvozena identifikátorem, který udává význam přenášené zprávy a její prioritu, nejvyšší prioritu má zpráva s identifikátorem 0. Protokol CAN zajišťuje, aby zpráva s vyšší prioritou byla v případě kolize dvou zpráv doručena přednostně, a dále je možné na základě identifikátoru zajistit, aby uzel přijímal pouze ty zprávy, které se ho týkají (Acceptance Filtering).

Uvedená část kódu popisuje příjem dat po sběrnici CAN, jedná se o základní nastavení mechaniky do určené polohy.

```

void CAN1_OnFullRxBuffer(void)
{
    dword msgID;
    byte frame,format,length,errCode;
    byte dta[8];

    errCode = CAN1_ReadFrame(&msgID,&frame,&format,&length,dta);

    if(errCode == ERR_OK || errCode == ERR_OVERRUN)
    {
        switch(msgID)
        {
            case CAN_MSG_ID_POSITION:
            {
                mech_data.mouth.position.vertical = dta[0];
                mech_data.eye.position.horizontal = dta[1];
                mech_data.eye.position.vertical = dta[2];
                mech_data.head.position.horizontal = dta[3];
                mech_data.head.position.vertical = dta[4];
            }break;
            case CAN_MSG_ID_VALUES:
            {
            }break;
            default:break;
        }
    }
}

```

Následující blok kódu zajišťuje konverzi datových struktur hodnot.

intX\_t - znaménková proměnná

uintX\_t - neznaménková proměnná

GetInt16FromBytes - Přečte ze vstupního bufferu datovou položku o velikosti 2 byte a předá ji v parametr jako celé číslo se znaménkem.

GetUint16FromBytes - Přečte ze vstupního bufferu datovou položku o velikosti 2 byte a předá ji v parametr jako celé číslo bez znaménka.

```

#ifndef UTILS_H_
#define UTILS_H_

#include "PE_Types.h"
#include "general_config.h"

uint16_t DutySetting (int8_t value);
int16_t GetInt16FromBytes (uint8_t* idata, uint32_t offset);
uint16_t GetUInt16FromBytes (uint8_t* idata, uint32_t
offset);

void GetBytesFromInt16 (uint8_t* odata, uint32_t offset,
int16_t value);
void GetBytesFromUInt16 (uint8_t* odata, uint32_t offset,
uint16_t value);

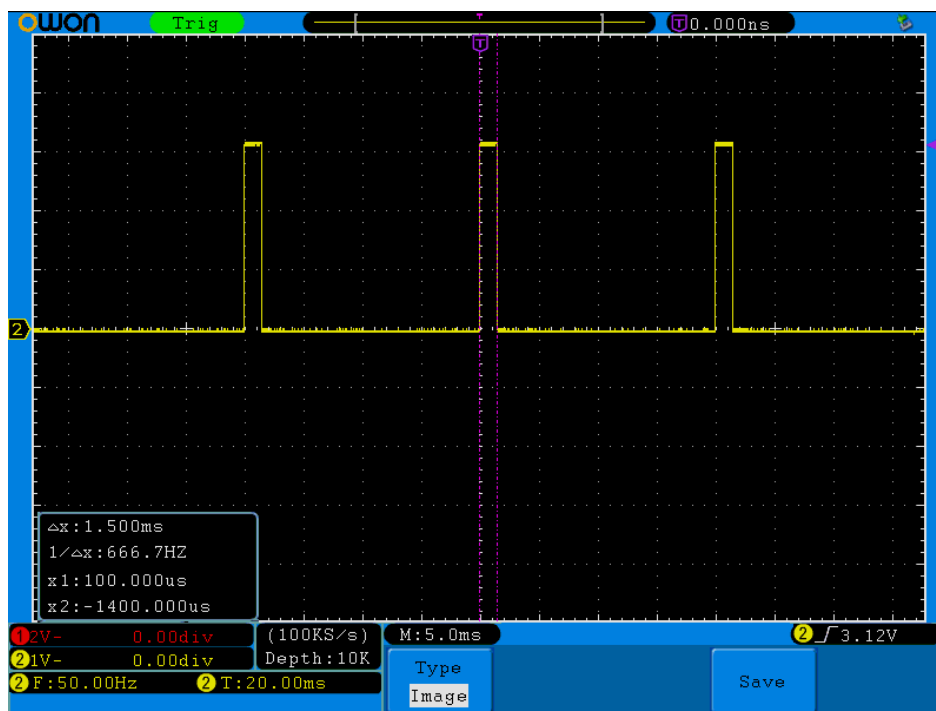
#endif /* UTILS_H_ */

```



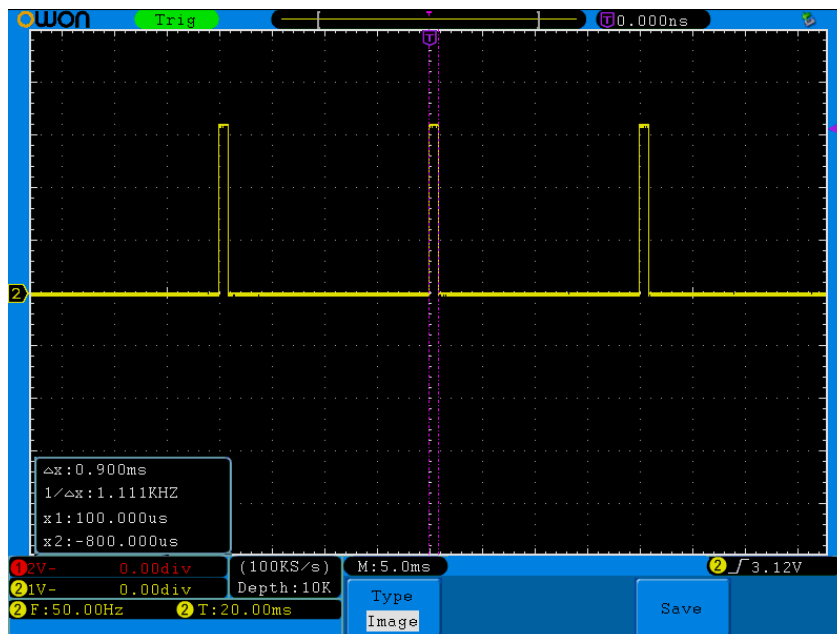
## 6 Verifikace a testování celého systému

Tato kapitola zahrnuje celkovou kontrolu pravdivosti a funkci přístroje konfrontací s fakty. První část kapitoly se zabývá analýzou PWM signálu přivedeného na servopohony, tyto signály jsou zaznamenány a změřeny pomocí osciloskopu a následně vyhodnoceny. Proudové odběry jednotlivých serv jsou shrnuty do tabulky a porovnány naměřené a výrobcem udávané příslušné hodnoty.



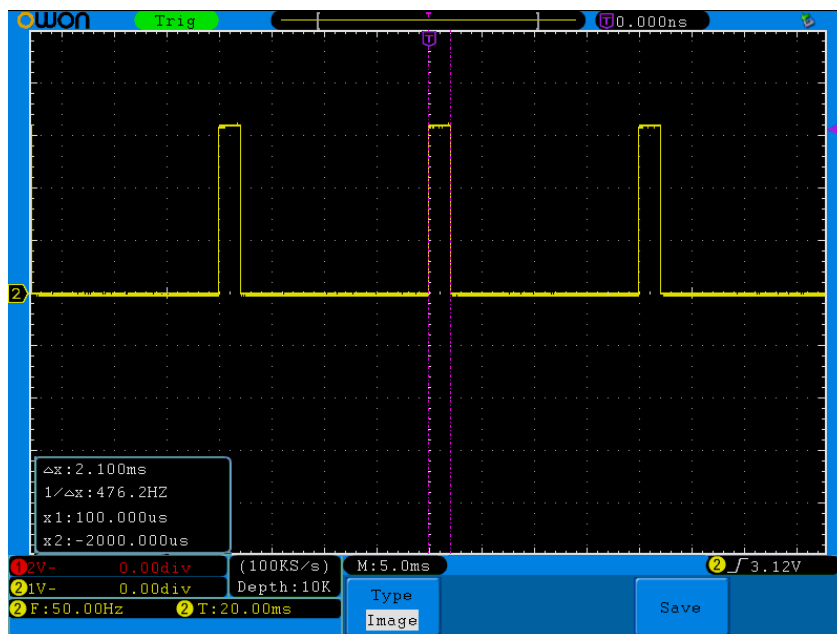
Obr. 40 Středová poloha serva

Na výstupu osciloskopu Obr. 40, je změřen signál pro střední polohu serva. Z měření je patrné, že perioda je 20ms, která odpovídá frekvenci 50Hz. Neutrální hodnota šířky impulsu je 1,500ms, což je středová výchozí poloha serva. Od této hodnoty se servo vychyluje na každou stranu asi o 45°, dle typu serva a výrobce. Při zvětšování šířky pulsu se většina serv pohybuje ve směru hodinových ručiček a při zkracování impulsu proti směru hodinových ručiček.



Obr. 41 Poloha serva 90° vlevo

Na druhém grafu Obr. 41, je zaznamenán řídicí signál pro otočení serva o 90° doleva. Z měření je patrné, že perioda je 20ms, která odpovídá frekvenci 50Hz. Hodnota šířky impulsu je 0,900ms, což je minimální velikost střidy pro otočení serva, při nižší střidě naráží servo na mechanické dorazy.



Obr. 42 Poloha serva 90° vpravo

Třetí graf Obr. 42, zobrazuje řídicí signál pro otočení serva o 90° doprava. V měření je zaznamenáno, že perioda je 20ms, která odpovídá frekvenci 50Hz. Hodnota šířky impulsu

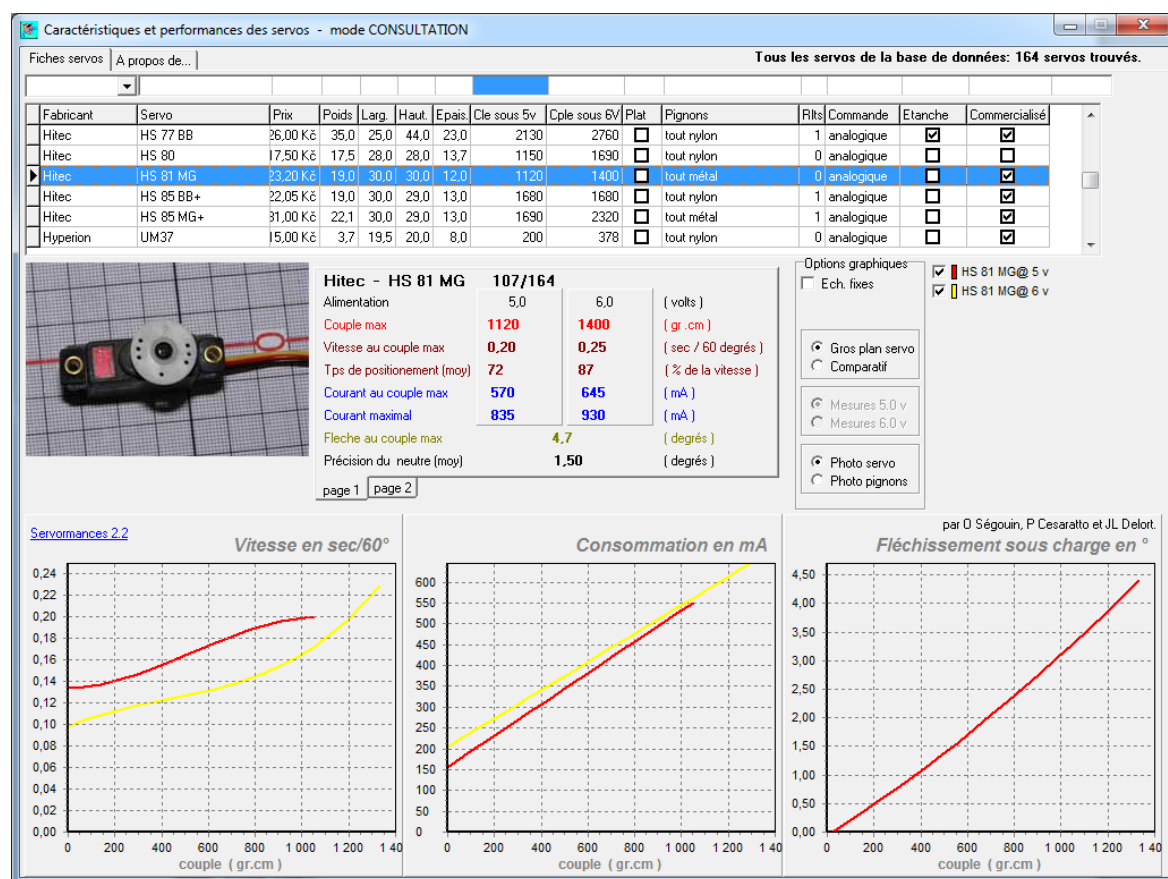
je 0,900ms, což je maximální velikost střidy pro otočení serva, při vyšší střídě naráží servo na mechanické dorazy.

Tab. 5 Proudový odběr jednotlivých serv

Typ serva	Naměřený proudový odběr			Výrobce udávaný proudový odběr	
	Klidový stav	Maximální rozsah	Střídání poloh	Klidový stav	Maximální rozsah
HS-81	10mA	300mA	620mA	10mA	280mA
HS-422	10mA	170mA	560mA	10mA	150mA

V tabulce Tab. 5 jsou uvedeny naměřené proudové odběry jednotlivých serv. V klidovém stavu a při otočení z minimální pozice do maximální pozice byl proudový odběr shodný s výrobcem, ale při rychlém střídání poloh vzrostl proudový odběr o 300 – 400 mA více.

Parametry odlišných serv byly porovnány v programu Servormances 2.2 Obr. 43, jedná se o databázi, která zahrnuje široký seznam výrobců serv a jejich vlastností, umožňuje také vykreslení parametrů do grafu v závislosti na točivém momentu.



Obr. 43 Databáze výrobců modelářských serv

## **7 Zhodnocení dosažených výsledků**

Tato kapitola se zabývá zhodnocením celé diplomové práce, od návrhu a realizaci mechanické části, řídicího systému až po implementaci softwarové části a testování celého systému.

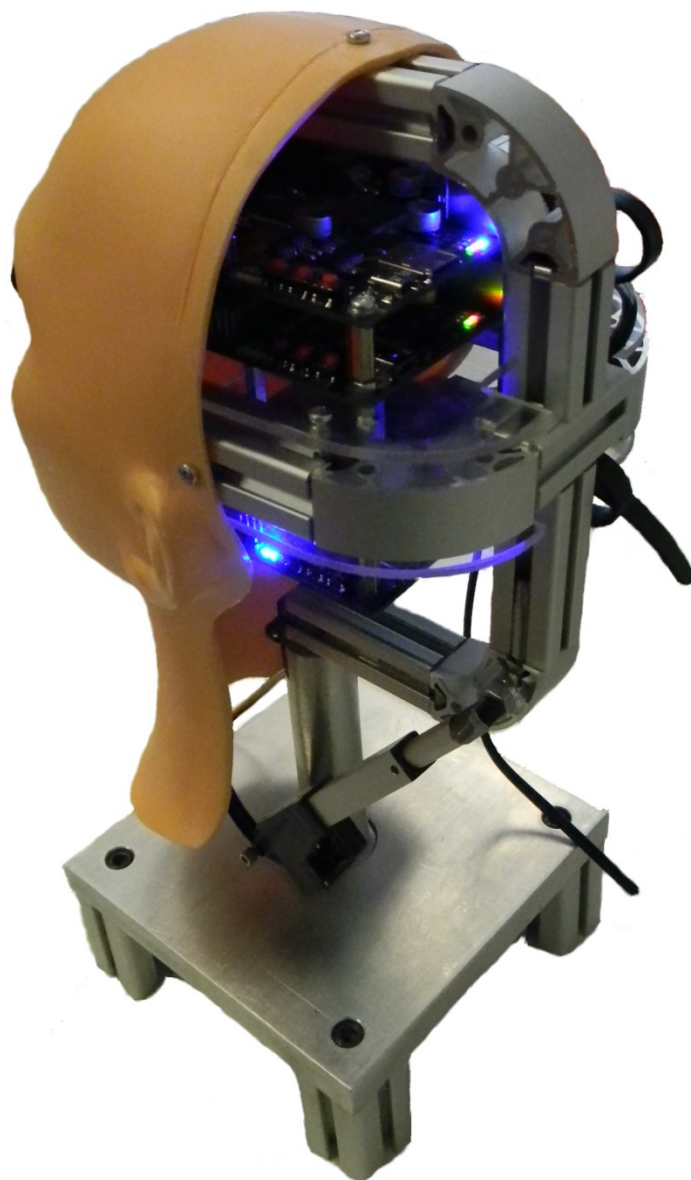
Vývoj kybernetické hlavy byl rozdělen do několika specifických částí, které byly řešeny v týmu 4 lidí. Uvedená diplomová práce je orientována především na realizaci mechanické části a řídicího systému zajišťujícího sběr, zpracování a následné vyhodnocení dat z odlišných subsystémů. Subsystémy jako takové jsou chápány částmi, které se zabývají analýzou a zpracováním zvuku, další subsystém se zabývá problematikou spojenou se zpracováním obrazu. Poslední subsystém se zabývá softwarovou částí, která umožňuje komunikovat mezi jednotlivými částmi a následnou vizualizací a řízením celé kybernetické hlavy.

Mechanická část byla zpočátku prováděna tak, že byl vytvořen model z dřevěných hranolů o průřezu 20x20mm, na tento model byl vymodelován lidský obličej z termoplastické hmoty tak, aby celá konstrukce vizuálně připomínala hlavu lidskou a zároveň umožňovala dimenzovat rozměry pro vkládání pohybových elementů, které zajišťovali příslušné pohyby celé kybernetické hlavy a jejich částí. Dřevěné profily byly následně nahrazeny profily z hliníku o totožných rozměrech jako předchozí dřevěné. Obličej vymodelovaný z termoplastické hmoty byl nahrazen obličejem z PVC a upraven tak, aby byla montáž na hliníkový skelet jednoduchá a rychle odnímatelná. Skelet z hliníkových profilů byl přimontován na podstavu, která má vhodnou hmotnost zajišťující stabilitu celé konstrukce, do této podstavu byl vyfrézován otvor pro uložení kuličkového ložiska s hřídelí zajišťující horizontální pohyb hlavy. Na otočnou hřídel bylo přichyceno lineární servo s dostatečnou délkou výsuvu, které zajišťuje vertikální pohyb navržené konstrukce. Pro autentičnost při reprodukování zvuku, byl obličej doplněn o otvor v části úst a opatřen polotovarem z PVC připevněným na lineární microservo, které simuluje mluvení robotické hlavy. Mechanická část, která je určená pro pohyb desek s kamerovými čipy byla realizována z hliníkového polotovaru a do něj umístěny 2 kuličkové ložiska malých rozměrů, zajišťující pohyb v horizontálním směru, tyto ložiska jsou opatřeny hřídelemi, na kterých jsou upevněny DPS plošných spojů s kamerovými čipy, tato konstrukce je umístěna v oblasti očí a v obličejí z PVC jsou vyfrézovány patřičné otvory.

Další částí diplomové práce byl návrh a realizace řídicího systému, který je navržen tak, aby jej bylo možné použít i pro zpracování zvuku a obrazu v kybernetické hlavě. Řídicí desku je také možné použít i pro vývoj jiných aplikací, které nejsou s kybernetickou hlavou spojeny, jedná se o tzv. vývojový kit. Jelikož byl především kladen důraz na velikost této řídicí desky, tak byla navržena jako čtyřvrstvá, čímž se zajistila vhodná velikost pro uložení do vnitřní části konstrukce, která obsahuje celkem 3 tyto řídicí desky, kde každá z nich zajišťuje zpracování obrazu, zvuku a mechanických pohybů zvlášť. Srcem řídicí desky byl vybrán mikrokontrolér MCF51AC256 řady ColdFire V1 od firmy Freescale, pro komunikaci s PC je DPS opatřena převodníky USB-RS232 pro sériovou linku s možností připojení přes USB rozhraní, dále obsahuje level transceiver pro zajištění vhodné napěťové úrovně pro sběrnici CAN, která je realizována pomocí Ethernetových konektorů a propojení mezi subsystémy je zajištěno UTP

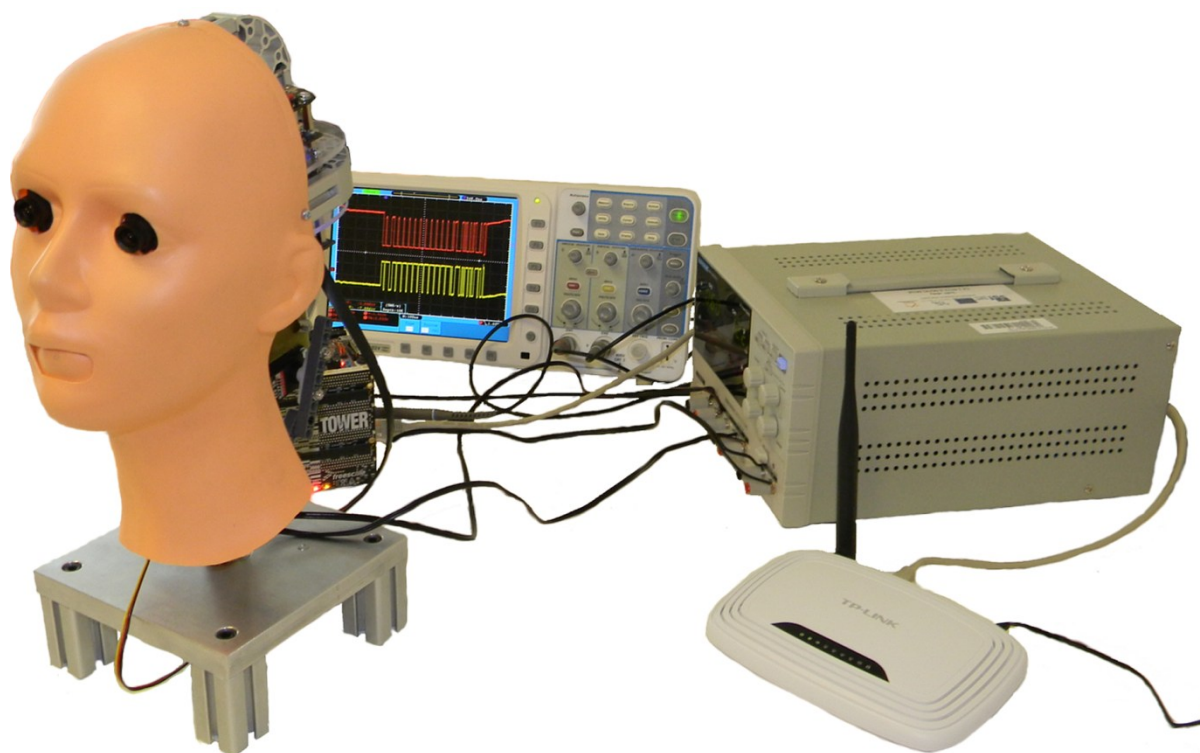
kabely. Pro univerzální používání jsou na vstupně/výstupní konektor jsou přivedeny napěťové hladiny (2,8V, 3,3V, 5V a 12V). Dále jsou na konektor vyvedeny programovací piny z mikrokontroléru. Programování je realizováno přes BDM rozhraní. DPS je rozšířena o uživatelská tlačítka a obslužné LED diody pro vizualizaci. Řídící deska byla navrhnutá v prostředí Eagle. Vygenerované soubory ve formátu .gerber byly zaslány do firmy Pragoboard, která se zabývá výrobou plošných spojů. Osazování a oživování řídící desky bylo prováděno za patřičných opatření, ať už omezení statického náboje až po zkratky vodivých cest. Testování probíhalo v laboratořích, ve kterých byl k dispozici nespočet laboratorních přístrojů usnadňující vývoj.

Závěrečná část diplomové práce byla orientována na implementaci softwarové části, zajišťující ovládání pohyblivých elementů na kybernetické hlavě. Pro tyto pohyby byly definovány limity v podobě maximálního úhlu otočení do příslušné strany, počáteční rozjezdy serv a dojezdy do požadovaných pozic. Celá konstrukce kybernetické hlavy je uvedena na Obr. 44.



**Obr. 44 Kybernetická hlava**

Navržený celek je připojen k zařízení Tower, který zasílá data pomocí sběrnice CAN do routeru, odkud je možné ovládat celý systém. Vizualizace může být v této koncepci připojena k routeru bezdrátově nebo po ethernetu. Verze vizualizace pro mobilní zařízení je připojena bezdrátově (absence konektoru pro ethernet). Verze vizualizace pro PC pak může využívat obou možností připojení, celé zapojení je patrné z Obr. 45.



Obr. 45 Výsledná podoba celku

## 7.1 Závěr

Společným cílem vývojářského týmu bylo navrhnutí a sestrojení modulárního robotického modelu lidské hlavy, který je schopen detekovat vizuální i zvukové podněty z okolí a vhodným způsobem na ně reagovat. Celá práce je orientována pro možnost rozšíření vědy a výzkumu v širokém spektru vědních disciplín, ať už se jedná o možnosti spojené s ovládáním pohybu a regulovat jej, zpracování a vyhodnocování akustických a vizuálních vjemů, komunikaci a vizualizaci dat, ovládání přes mobilní zařízení až po snahu implementovat umělou inteligenci. Modulární robotické zařízení bylo sestrojeno i za účelem reprezentování katedry pro zaujetí a oslovení potencionálních studentů a široké veřejnosti. Vizí do budoucna bylo zajistit na vyvíjeném systému snadnou cestu pro rozšíření robotické hlavy o další části podobné lidskému tělu.

Cíle této diplomové práce byly velmi rozsáhlé, v první řadě bylo vytvoření mechanické části, která bude vizuálně připomínat hlavu lidskou, doplnit tuto modulární kybernetickou hlavu o soustavu pohonů, které zajišťují pohyby celé hlavy. Velmi důležitou částí byl návrh a realizace řídicích desek, které obsluhují jednotlivá senzory a aktuátory. Tato řídicí deska je vytvořena jako tzv. vývojový kit, tudíž je možné ji použít i pro aplikace jiných druhů, které nemají s modulárním kybernetickým zařízením nic společného, proto se této části věnuje nejvíce pozornosti. Důraz nebyl kladen pouze na možnost použití při jiném výzkumu, ale byl především kladen na velikost této řídicí desky. Rozměry DPS jsou takové, že vložené DPS do konstrukce robotické hlavy nezasahují do okolního prostředí a zároveň je zajištěn snadný přístup k obslužným částem. Náplní třetí části je implementace softwaru, kterým je zajištěno ovládání mechanických elementů, příjem a zasilání dat pro subsystémy zabývajícími se zpracováním obrazu i zvuku, komunikací a vizualizací dat s možností manuálního ovládání celého zařízení. Vytvořená kybernetická hlava otvírá široké spektrum uplatnění v oblasti studia, vědy i výzkumu, především svým vzhledem, pohybem, možností ovládání a vizualizací dat vzbuzuje velké pozornosti jedince i rozsáhlé veřejnosti.



## 8 Použitá literatura

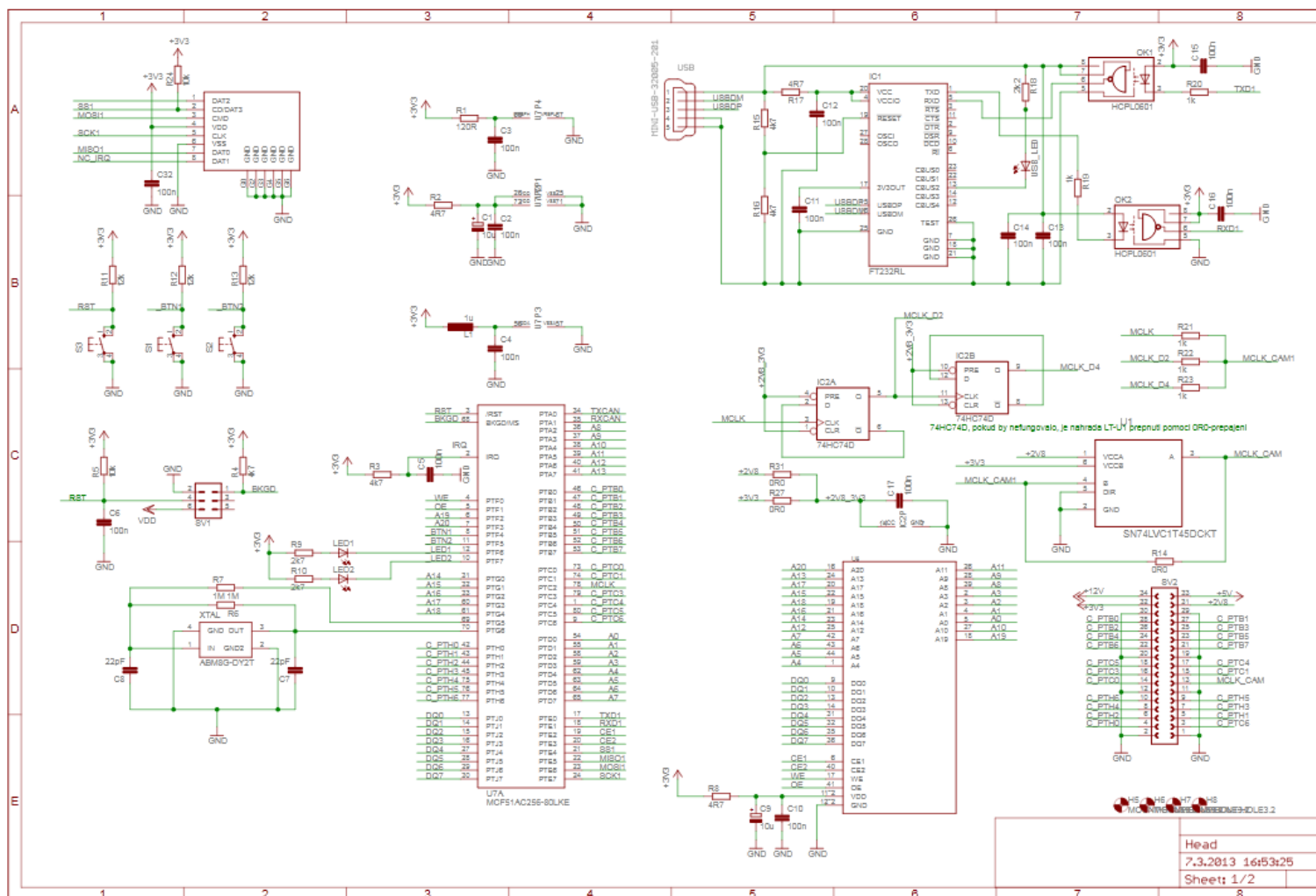
- [1] ASIMOV, Isaac. *Nahé slunce*. 1. vyd. Praha: Ivo Železný, 1994. 214 s. Sci-fi (Ivo Železný). ISBN 80-711-6062-8.
- [2] ZÁHLAVA, Vít. *Návrh a konstrukce desek plošných spojů: principy a pravidla praktického návrhu*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2010. 123 s. ISBN 978-80-7300-266-4.
- [3] WISE, E. *Applied Robotics: pohony, senzory, řízení*. Vyd. 1. Indianapolis: BEN - technická literatura, 1999. 311 s. ISBN 07-906-1184-8.
- [4] MONTROSE, Mark I. *Printed circuit board design techniques for EMC compliance: a handbook for designers*. 2nd ed. New York: IEEE Press ; Wiley-Interscience, 2000. xxv, 307 s. ISBN 07-803-5376-5..
- [5] MARDIGUIAN, Michel. *Controlling radiated emissions by design: a handbook for designers*. 2nd ed. Boston, MA: Kluwer Academic Publishers, 2001. vii, 338 p. ISBN 07-923-7978-0.
- [6] ŠOLC, František. *Robotika, modelování a řízení robotů: Robotics, modelling and control of robots : teze přednášky ke jmenování profesorem v oboru "technická kybernetika"*. Vyd. 1. Brno: VUT IUM, 2004. 28 s. Vědecké spisy (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-2618-7.
- [7] JAZAR, Reza N. *Theory of applied robotics: kinematics, dynamics, and control*. 2nd ed. New York: Springer, c2010. xxiii, 883 s. Vědecké spisy (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 978-1-4419-1749-2.
- [8] NOVÁK, Petr. *Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení*. Vyd. 1. Praha: BEN - technická literatura, 2004. 247 s. ISBN 80-730-0141-1.
- [9] [online]. [cit. 2013-04-02]. Dostupné z: [http://www.servo-drive.com/specialni\\_krokove\\_motory\\_krokove\\_motory\\_na\\_miru.php](http://www.servo-drive.com/specialni_krokove_motory_krokove_motory_na_miru.php)
- [10] [online]. [cit. 2013-04-010]. Dostupné z: [http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod\\_summary.jsp?code=MCF51JM&fsrch=1&sr=1](http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=MCF51JM&fsrch=1&sr=1)
- [11] [online]. [cit. 2013-04-04]. Dostupné z: [11] <http://www.hw.cz/freescale/nove-jadro-coldfire-v1-s-32bitovym-vykonem-a-8bitovou-jednoduchosti.html>
- [12] [online]. [cit. 2013-03-02]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Robot>

## **9   Seznam příloh**

Příloha 1 -Schéma zapojení řídicí desky 1/2	I
Příloha 2 -Schéma zapojení řídicí desky 2/2	II
Příloha 3 -Komunikační protokol	III
Příloha 4 -Definice limitů mechanických pohybů	IV
Příloha 5 -Rozložení pinů na řídicí desce 1/2	V
Příloha 6 -Rozložení pinů na řídicí desce 2/2	VI
Příloha 7 -Vnitřní struktura MCU – MCF51AC256	VII
Příloha 8 -Seznam součástí: Řídicí deska	VIII
Příloha 9 -Fotografie kybernetické hlavy	IX
Příloha 10 -Výsledné foto zapojení celého systému	X

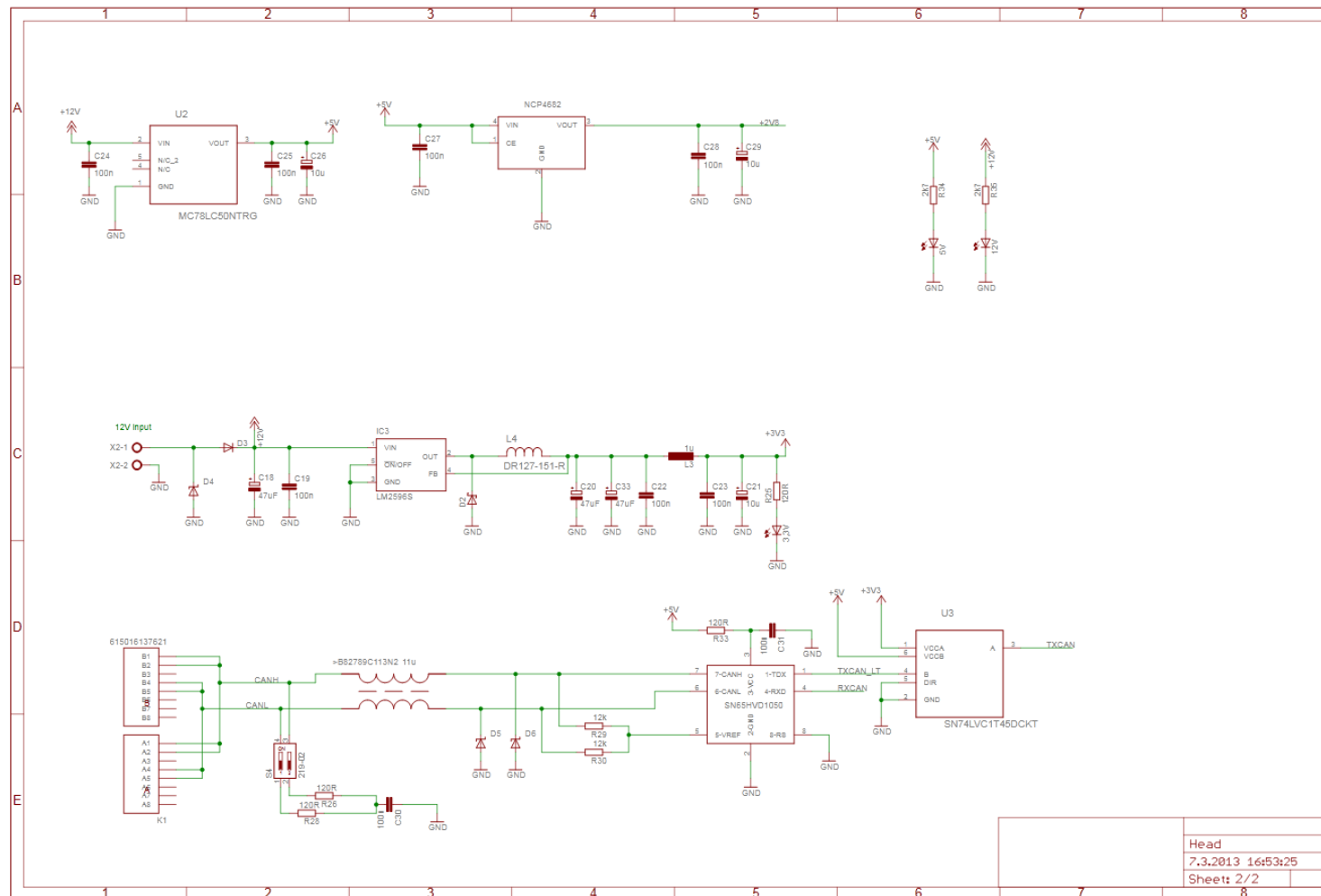
webové stránky pro prezentaci kybernetické hlavy – <http://www.cyberhead.euweb.cz>

Příloha 1 - Schéma zapojení řídicí desky 1/2



Obr. 46 Schéma zapojení část 1

Příloha 2 - Schéma zapojení řídicí desky 2/2



Obr. 47 Schéma zapojení část 2

Příloha 3 - Komunikační protokol

Zařízení	Vazba	MSG ID	Název MSG	Byte							
				7	6	5	4	3	2	1	0
Modul řízení mechaniky hlavy	PXN		MECH EYE PARAM1 IN			Eye Default Position Vertical	Eye Default Position Horizontal	Eye Limit Up	Eye Limit Down	Eye Limit Right	Eye Limit Left
			MECH EYE PARAM2 IN					Eye Finish Acc. Vertical	Eye Finish Acc. Horizontal	Eye Speed Vertical	Eye Speed Horizontal
	PXN		MECH MOUTH PARAM IN							Mouth Limit Up	Mouth Limit Down
	PXN		MECH HEAD PARAM1 IN			Head Default Position Vertical	Head Default Position Horizontal	Head Limit Up	Head Limit Down	Head Limit Right	Head Limit Left
	PXN		MECH HEAD PARAM2 IN	Head Scale Position Vertical		Head Scale Position Horizontal		Head Finish Acc. Vertical	Head Finish Acc. Horizontal	Head Speed Vertical	Head Speed Horizontal
	PXN+GEN		MECH POSITION IN				Head Position Vertical	Head Position Horizontal	Eye Position Vertical	Eye Position Horizontal	Mouth Position
	PXN		MECH STATE IN				Moving Mode	Speed Up Coefficient	State Byte B	State Byte A	Schema ID
	PXN		MECH EYE PARAM 1 OUT			Eye Default Position Vertical	Eye Default Position Horizontal	Eye Limit Up	Eye Limit Down	Eye Limit Right	Eye Limit Left
	PXN		MECH EYE PARAM 2 OUT					Eye Finish Acc. Vertical	Eye Finish Acc. Horizontal	Eye Speed Vertical	Eye Speed Horizontal
	PXN		MECH MOUTH PARAM OUT							Mouth Limit Up	Mouth Limit Down
	PXN		MECH HEAD PARAM1 OUT			Head Default Position Vertical	Head Default Position Horizontal	Head Limit Up	Head Limit Down	Head Limit Right	Head Limit Left
	PXN+GEN		MECH HEAD PARAM2 OUT	Head Scale Position Vertical		Head Scale Position Horizontal		Head Finish Acc. Vertical	Head Finish Acc. Horizontal	Head Speed Vertical	Head Speed Horizontal
	BR		MECH POSITION OUT				Head Position Vertical	Head Position Horizontal	Eye Position Vertical	Eye Position Horizontal	Mouth Position
	BR		MECH STATE OUT				Moving Mode	Speed Up Coefficient	State Byte B	State Byte A	Schema ID
	BR		MECH VALUES OUT					Actual Supply Current		Actual Supply Voltage	
	Příjem	Vysílání									

Tab. 6 Komunikační protokol

Příloha 4 - Definice limitů mechanických pohybů

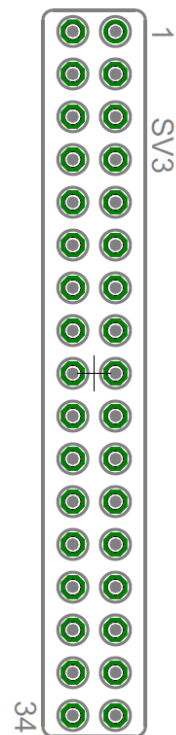
N	Název	Bit	Sig.	Def.	Unit	Popis
1	MechanicSchema	8	NE	0	-	ID schemata definic
2	EyePositionH	8	ANO	0	°	Horizontální pozice oka
3	EyePositionV	8	ANO	0	°	Vertikální pozice oka
4	HeadPositionH	8	ANO	0	°	Horizontální pozice hlavy (natočení)
5	HeadPositionV	8	ANO	0	°	Vertikální pozice hlavy (náklon)
6	MouthPosition	8	ANO	0	-	Rozvor úst
7	StateByteA	8	NE	x	-	Stavový rezervní byte
8	StateByteB	8	NE	x	-	Stavový rezervní byte
9	SupplyVoltage	16	NE	x	mV	Hodnota napájecího napětí
10	SupplyCurrent	16	NE	x	mA	Hodnota aktuálního proudu
11	EyeLimitLeft	8	ANO	-45	°	Levý doraz pohybu oka
12	EyeLimitRight	8	ANO	45	°	Pravý doraz pohybu oka
13	EyeLimitUp	8	ANO	45	°	Horní doraz pohybu oka
14	EyeLimitDown	8	ANO	-45	°	Dolní doraz pohybu oka
15	HeadLimitLeft	8	ANO	-90	°	Levý doraz pohybu hlavy
16	HeadLimitRight	8	ANO	90	°	Pravý doraz pohybu hlavy
17	HeadLimitUp	8	ANO	45	°	Horní doraz pohybu hlavy
18	HeadLimitDown	8	ANO	-45	°	Dolní doraz pohybu hlavy
19	EyeSpeedH	8	NE	10	mm/s	Rychlost pohybu oka po horizontální ose
20	EyeSpeedV	8	NE	10	mm/s	Rychlost pohybu oka po vertikální ose
21	HeadSpeedH	8	NE	10	mm/s	Rychlost pohybu hlavy po horizontální ose
22	HeadSpeedV	8	NE	10	mm/s	Rychlost pohybu hlavy po vertikální ose
23	EyeFinishAccH	8	ANO	0	$\frac{\text{mm}}{\text{s}^2}$	Akcelerace pohybu v horizontální ose
24	EyeFinishAccV	8	ANO	0	$\frac{\text{mm}}{\text{s}^2}$	Akcelerace pohybu ve vertikální ose
25	HeadFinishAccH	8	ANO	0	$\frac{\text{mm}}{\text{s}^2}$	Akcelerace pohybu hlavy v horizontální ose
26	HeadFinishAccV	8	ANO	0	$\frac{\text{mm}}{\text{s}^2}$	Akcelerace pohybu hlavy ve vertikální ose
27	MouthLimitUp	8	ANO	45	°	Horní doraz pohybu úst
28	MouthLimitDown	8	ANO	-45	°	Dolní doraz pohybu úst
29	SpeedUpCoefficient	8	NE	1	-	Koeficient pro zrychlení všech pohybů
30	HeadScalePositionH	16	ANO	0	-	Koeficient přepočtu pozice zvuku v horizontální ose
31	HeadScalePositionV	16	ANO	0	-	Koeficient přepočtu pozice zvuku ve vertikální ose
32	MovingMode	8	NE	0	-	Varianata pohybu
33	EyeDefaultPositionH	8	ANO	0	°	Výchozí pozice oka v horizontální ose
34	EyeDefaultPositionV	8	ANO	0	°	Výchozí pozice oka ve vertikální ose
35	HeadDefaultPositionH	8	ANO	0	°	Výchozí pozice hlavy v horizontální ose
36	HeadDefaultPositionV	8	ANO	0	°	výchozí pozice hlavy ve vertikální ose

Tab. 7 Definice limitů mechaniky

Příloha 5 - Rozložení pinů na řídicí desce 1/2

MCU	SRAM
PTF3	A20
PTA7	A13
PTG3	A17
PTG1	A15
PTG2	A16
PTG4	A18
PTG0	A14
PTA6	A12
PTD7	A7
PTD6	A6
PTD5	A5
PTD4	A4
PTJ0	DQ0
PTJ1	DQ1
PTJ2	DQ2
PTJ3	DQ3
PTJ4	DQ4
PTJ5	DQ5
PTJ6	DQ6
PTJ7	DQ7
PTE2	CE1
PTE3	CE2
PTF0	WE
PTF1	OE
PTA5	A11
PTA3	A9
PTA2	A8
PTD3	A3
PTD2	A2
PTD1	A1
PTD0	A0
PTA4	A10
PTF2	A19

Konektor	MCU
1	GND
2	GND
3	PTC6
4	PTH0
5	PTH1
6	PTH2
7	PTH3
8	PTH4
9	PTH5
10	PTH6
11	GND
12	GND
13	MCLK_CAM
14	PTC0
15	PTC1
16	PTC3
17	PTC4
18	PTC5
19	GND
20	GND
21	PTB7
22	PTB6
23	PTB5
24	PTB4
25	PTB3
26	PTB2
27	PTB1
28	PTB0
29	GND
30	GND
31	+2V8
32	+3V3
33	+5V
34	+12V

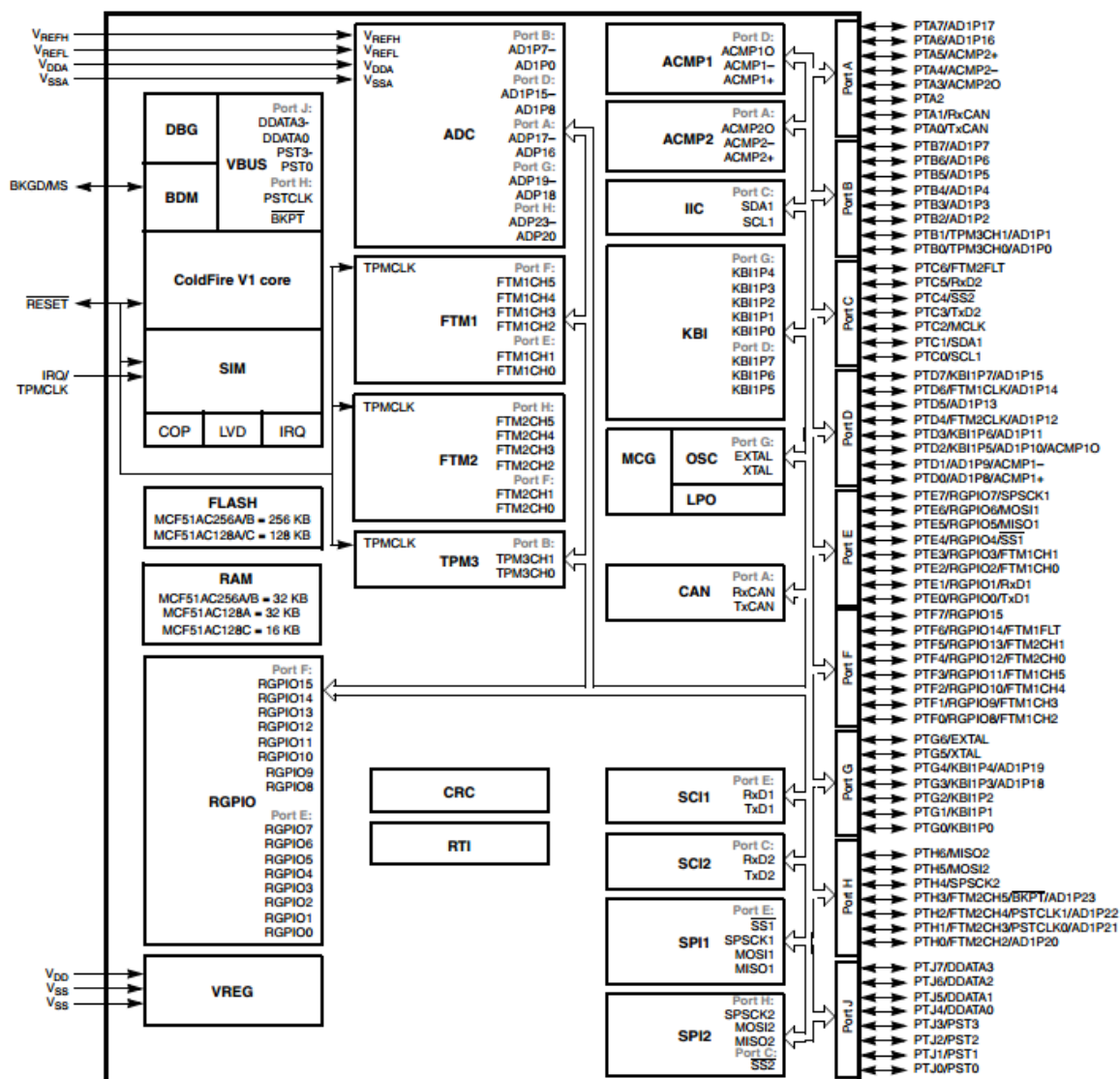


Příloha 6 - Rozložení pinů na řídicí desce 2/2

Pin	periferie	SD card
PTE4	SS1	CD/DAT3
PTE7	SCK1	CLK
PTE6	MOSI1	CMD
PTE5	MISO1	DAT0
PTF7	LED2	
PTF6	LED1	
PTF5	S2	
PTF4	S1	
PTA1	RXCAN	
PTA0	TXCAN	



# Příloha 7 - Vnitřní struktura MCU – MCF51AC256



Obr. 48 MCF51AC256 blokový diagram

Příloha 8 - Seznam součástek: Řídící deska

Part	Value	Part	Value	Part	Value
<b>3,3V</b>	LED	<b>R1</b>	120R	<b>D2</b>	DIODE, SCHOTTKY, 1A, 100V
<b>5V</b>	LED	<b>R2</b>	4R7	<b>D3</b>	DIODE, SCHOTTKY, 1A, 100V
<b>12V</b>	LED	<b>R3</b>	4K7	<b>D4</b>	SMBJ30CA-TRANSIL
<b>C1</b>	10uF	<b>R4</b>	4K7	<b>D5</b>	SMBJ30CA-TRANSIL
<b>C2</b>	100nF	<b>R5</b>	10K	<b>D6</b>	SMBJ30CA-TRANSIL
<b>C3</b>	100nF	<b>R6</b>	1M	<b>IC1</b>	FT232RL
<b>C4</b>	100nF	<b>R7</b>	1M	<b>IC2</b>	74HC74D
<b>C5</b>	100nF	<b>R8</b>	4R7	<b>IC3</b>	LM2596S
<b>C6</b>	100nF	<b>R9</b>	120R	<b>IC6</b>	NCP4682
<b>C7</b>	22pF	<b>R10</b>	120R	<b>IC7</b>	SN65HVD1050
<b>C8</b>	22pF	<b>R11</b>	10K	<b>K1</b>	
<b>C9</b>	10uF	<b>R12</b>	12K	<b>L1</b>	1u
<b>C10</b>	100nF	<b>R13</b>	12K	<b>L3</b>	1u
<b>C11</b>	100nF	<b>R14</b>	0R0	<b>L4</b>	DR127-151-R
<b>C12</b>	100nF	<b>R15</b>	4K7	<b>LED1</b>	LED
<b>C13</b>	100nF	<b>R16</b>	4K7	<b>LED2</b>	LED
<b>C14</b>	100nF	<b>R17</b>	4R7	<b>OK1</b>	HCPL0601
<b>C15</b>	100nF	<b>R18</b>	2K7	<b>OK2</b>	HCPL0601
<b>C16</b>	100nF	<b>R19</b>	1K	<b>S1</b>	SWITCH - TACTIL
<b>C17</b>	100nF	<b>R20</b>	1K	<b>S2</b>	SWITCH - TACTIL
<b>C18</b>	47uF	<b>R21</b>	1K	<b>S3</b>	SWITCH - TACTIL
<b>C19</b>	100nF	<b>R22</b>	1K	<b>S4</b>	SWITCH - DIL
<b>C20</b>	47uF	<b>R23</b>	1K	<b>SV1</b>	CONNECTOR 6PIN
<b>C21</b>	10uF	<b>R24</b>	10K	<b>SV2</b>	CONNECTOR 34PIN
<b>C22</b>	100nF	<b>R25</b>	120R	<b>U1</b>	SN74LVC1T45DCKT
<b>C23</b>	100nF	<b>R26</b>	120R	<b>U2</b>	MC78LC50NTRG
<b>C24</b>	100nF	<b>R27</b>	0R0	<b>U3</b>	SN74LVC1T45DCKT
<b>C25</b>	100nF	<b>R28</b>	120R	<b>U6</b>	BS62LV1600
<b>C26</b>	10uF	<b>R29</b>	12K	<b>U7</b>	MCF51AC256-80LKE
<b>C27</b>	100nF	<b>R30</b>	12K	<b>I2</b>	11u
<b>C28</b>	100nF	<b>R31</b>	0R0	<b>USB</b>	MINI-USB
<b>C29</b>	10uF	<b>R32</b>	120R	<b>USB_Led</b>	LED
<b>C30</b>	100nF	<b>R33</b>	120R	<b>X2</b>	Ucc CONNECOR
<b>C31</b>	100nF	<b>R34</b>	2K7	<b>X3</b>	MICROSD
<b>C32</b>	100nF	<b>R35</b>	2K7	<b>XTAL</b>	16MHz
<b>C33</b>	47uF				

Tab. 8 Seznam použitých součástek



Obr. 49 Kybernetická hlava



Obr. 50 Fotografie výsledného zapojení

